



SKRIPSI - ME 141501

**PENILAIAN RISIKO SOSIAL *PADA KAPAL  
PENUMPANG SAAT MELAKUKAN PENGISIAN  
BAHAN BAKAR LNG***

STALLINE PANGESTU  
NRP 4213 100 084

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T.,M. Sc.  
Dr. I Made Ariana, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - ME 141501**

# **SOCIETAL RISK ASSESSMENT OF PASSENGER FERRY DURING BUNKERING LNG**

**STALLINE PANGESTU**  
**NRP 4213 100 084**

**Supervisors**

**Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.**

**Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**  
**Faculty of Marine Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENILAIAN RISIKO SOSIAL PADA KAPAL PENUMPANG SAAT MELAKUKAN PENGISIAN BAHAN BAKAR LNG**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability  
and Safety (RAMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**STALLINE PANGESTU**

NRP 4213 100 084

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T.,M.Sc.

Dr. I Made Ariana, S.T.,M.T.



SURABAYA  
JANUARI, 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENILAIAN RISIKO SOSIAL PADA KAPAL PENUMPANG SAAT MELAKUKAN PENGISIAN BAHAN BAKAR LNG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability  
and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**STALLINE PANGESTU**  
NRP 4213 100 084

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



  
Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.  
NIP. 197708022008011007

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## ABSTRAK

**Nama Mahasiswa** : Stalline Pangestu  
**NRP** : 4213 100 084  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ketut Buda Artana  
Dr. I Made Ariana

PT. PELNI salah satu perusahaan pelayaran di Indonesia memiliki rencana untuk mengganti *engine* pada armada kapalnya yang sebelumnya menggunakan MDO menjadi *Dual Fuel*. Terdapat beberapa skema dalam pengisian bahan bakar LNG pada kapal seperti *ship to ship*, *onshore to ship* dan *truck to ship*. Pengisian Bahan Bakar LNG yang direncanakan akan dilakukan dengan skema *ship to ship* di area pelabuhan penumpang sehingga jika terjadi kecelakaan akan mengakibatkan kerugian yang besar baik material maupun korban jiwa. Oleh karena itu untuk meminimalkan risiko penyebab-penyebab yang mungkin terjadi, juga seberapa besar kemungkinan tersebut dapat terjadi, beserta bahaya yang dapat ditimbulkan akibat terjadinya kecelakaan pada saat pengisian bahan bakar maka perlu diadakan studi teknis SIMOPS (Simultaneous Operations) ketika terjadi aktivitas penumpang disekitar kapal pada saat pengisian bahan bakar LNG. Proses penilaian identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP BS IEC61882. Analisa frekuensi menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dan *Event Tree Analysis*. Analisa Konsekuensi menggunakan simulasi *Fire Modelling*. Representasi Risiko menggunakan *F-N Curve* dengan standard HKGR (*Hongkong Government Risk Guidelines*) dan Fuzzy Inference System – Mamdani. Tingkat Risiko pada penelitian ini berada pada zona Acceptable untuk seluruh skenario sehingga tidak perlu melakukan langkah mitigasi. Dengan adanya skema pengisian LNG secara *ship to ship* maka proses pengisian akan lebih efisien dan lebih cepat

serta penggunaan bahan bakar LNG ini harapannya akan diikuti oleh perusahaan perkapalan lainnya di Indonesia.

Kata Kunci : LNG, SIMOPS, Ship to Ship LNG Transfer, Fuzzy, Risk Assessment

## **ABSTRACT**

**Name : Stalline Pangestu**  
**NRP : 4213 100 084**  
**Department : Marine Engineering**  
**Supervisors : Prof. Dr. Ketut Buda Artana**  
**Dr. I Made Ariana**

PT. Pelayaran Nasional Indonesia (PELNI) as one of the biggest shipping company in Indonesia has a plan to change their conventional engine to dual fuel engine. There are some options to do LNG Bunkering such as ship to ship, onshore to ship and truck to ship. In this study the bunkering option for LNG transfer is Ship to Ship in port area so that the passengers in case of accident would result in a large loss of material and fatalities that is why it is necessary to do SIMPOS Technical Study and Risk Assessment.

The assessment process of hazard identification using HAZOP method BS IEC61882. Frequence analysis using Fault Tree Analysis and Event Tree Analysis. Consequence analysis using a simulation Fire Modelling. Risk representation using F-N Curve with standard HKGR (Hongkong Government Risk Guidelines) and Fuzzy Inference System - Mamdani. The level of risk in this study are in the Acceptable zone for the entire scenario so it does not need to perform mitigation measures. With the charging scheme LNG ship to ship the charging process will be more efficient and quicker. The expectation of the use of LNG fuel is this option will be followed by other shipping companies in Indonesia.

**Key Word : LNG, SIMOPS, Ship to Ship LNG Transfer, Fuzzy, Risk Assessment**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Bhagawan Sri Sathya Sai atas limpahan rahmatnya sehingga tugas akhir dengan judul **“Penilaian Risiko Sosial pada Kapal Penumpang saat Melakukan Pengisian Bahan Bakar LNG”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik oleh penulis juga atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Irwan dan Ibu Yenny serta adik Floretta Pangestu, yang telah bersedia mendengar keluh kesah, memberikan dukungan baik moril maupun materi, dan doa yang tulus ikhlas kepada penulis saat menghadapi kesulitan dalam pengerjaan Tugas Akhir, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Prof. Dr. Ketut Buda Artana S.T.,M.Sc. selaku dosen pembimbing 1, yang sejauh ini membimbing dan memotivasi penulis dengan baik.
3. Dr. I Made Ariana S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing 2, yang telah memberi banyak perhatian dan masukan selama proses pengerjaan tugas akhir
4. A.A.B. Dinariyana D.P, S.T., MES., Ph.D selaku kepala laboratorium RAMS yang telah banyak memberikan masukan dan perhatian selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Ir. Hari Prastowo, M.Sc , Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc, Ph.D , Bapak Dr. Dhimas W.H, S.T,M.Sc , Bapak Ehde M.,S.T, M.T. selaku dosen penguji.
6. Bapak Dr. Eng. M. badrus Zaman S.T., M.T. selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi
7. Ketua SSG Surabaya Bro Agung R. Semoga Sukses Selalu ya!!

8. Keluarga Besar Young Adult SSG Surabaya, Prisma Dewi (Ima), Kak Ode, Kak Deo, Kak Lian, Eka, Made Saraswati, Anin dan Sathya semoga semua cita-cita dan impian kalian tercapai. Om Sai Ram
9. Sahabat Penulis di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Made (I Gde Manik Sukanegara Adhita), Faisal, Edo, Andwi, Arief Maul dan Rhama F.. Kalian yang terbaik!
10. Semua teman-teman lab RAMS, Made, Tri, Hilda, Dante, Randy Ori, Mas Libry, Mas Ical, Nyimas, Danu, Hafizh, Ilham, Balqis, Rachmat, Ago, Ben, Filik, Mas Fadlan, Winda dan Qojon. serta teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Semoga kalian sukses semua.
11. Sesepuh lab RAMS, Ko Oji, Mbak Ucik, Mbak Emmy, Mbak Putri, Mbak Dilla, Mas Dwi, Mas Habib, Mas Cakra, Mas Fauzi, Mas Agas, Mas Tandho, Mbak Carla dan Mas Adi yang juga banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan berdiskusi.
12. Dan semua pihak yang terlibat dan berkontribusi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga Bhagavan Sri Sathya Sai melimpahkan berkahnya kepada kita semua. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2017  
Penulis.

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
<b>DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
II.1 <i>LNG (Liquified Natural Gas)</i> .....	5
II.2 <i>Sistem Bunkering</i> .....	6
II.3 Data Spesifikasi KMP. Labobar .....	7
II.4 Data Spesifikasi LNG Bunker Shuttle .....	9
II.5 <i>Data Spesifikasi Terminal Penumpang</i> .....	10
II.6 SIMOPS (Simultaneous Operations) .....	11
II.7 Prosedur Ship to Ship Bunkering LNG.....	12
II.8 Faktor Eksternal .....	14
II.8.1 Keadaan Laut.....	15
II.9 <i>Risk Assesment</i> .....	16
II.9.1 <i>Hazard Identification</i> .....	16
II.9.1.1 <i>HAZOP</i> .....	16
II.9.2 Analisa Frekuensi.....	18
II.9.2.1 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i> .....	18
II.9.2.2 <i>Event Tree Analysis (ETA)</i> .....	19
II.9.3 Analisa Konsekuensi .....	20
II.9.3.1 ALOHA 5.4.4.....	20
II.10 <i>Jet fire</i> .....	21
II.11 <i>Pool Fire</i> .....	22

II.12 <i>Flash fire</i> .....	23
II.13 BLEVE .....	23
II.14 <i>Gas dispersion</i> .....	24
II.15 <i>F-N Curve</i> .....	25
II.16 <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i> – Mamdani.....	26
II.16.1 Langkah Pengerjaan Menggunakan MATLAB 27	
II.17 LOPA ( <i>Layer of Protection Analysis</i> ).....	28
<b>METODOLOGI.....</b>	<b>29</b>
III.1 Perumusan Masalah .....	29
III.2 Studi Literatur .....	29
III.3 Pengumpulan Data .....	31
III.4 Opsi Bunkering .....	31
III.5 HAZOP Identification.....	31
III.6 Analisa Frekuensi.....	32
III.7 Analisa Konsekuensi.....	32
III.7 Representasi Risiko.....	33
III.8 Analisa Mitigasi .....	33
<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
IV.1 Gambaran Umum.....	35
IV.2 Data.....	35
IV.3 Analisa Resiko Ship to Ship LNG Transfer .....	36
IV.3.1 HAZOP .....	39
IV.3.2 Pembagian Node.....	39
IV.3.3 Deviasi Sistem .....	40
IV.3.4 <i>Cause dan Consequences</i> .....	40
IV.3.5 <i>Safeguards</i> .....	41
IV.3.6 <i>Comments dan Action Required</i> .....	41
IV.3.7 Skenario Konsekuensi .....	54
IV.4 Analisa Frekuensi .....	54
IV.4.1 Fault Tree Analysis (FTA).....	59



IV.4.2 <i>Event Tree Analysis</i> (ETA) .....	61
IV.5 Analisa Konsekuensi .....	66
IV.5.1 Penentuan letak <i>receiver</i> .....	66
IV.5.2 <i>Fire modelling</i> dengan perangkat lunak ALOHA 5.4.4 .....	67
IV.6 Representasi Risiko .....	85
IV.6.1 Representasi Risiko <i>jet fire</i> di Dermaga ....	85
IV.6.2 Representasi Risiko <i>jet fire</i> di Laut .....	87
IV.6.3 Representasi Risiko <i>flash fire</i> di dermaga .	88
IV.6.4 Representasi Risiko <i>flash fire</i> di laut .....	90
IV.6.5 Representasi Risiko <i>gas dispersion</i> .....	91
IV.6.6 Representasi Risiko <i>Jet Fire</i> FIS-Mamdani .....	93
IV.6.7 Representasi Risiko <i>Flash Fire</i> FIS- Mamdani .....	97
IV.6.8 Representasi Risiko <i>Gas Dispersion</i> FIS- Mamdani .....	98
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>101</b>
V.1 Kesimpulan .....	101
V.1 Saran .....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN A .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN C .....</b>	<b>133</b>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Gambar 1 ETA pada STS LNG Transfer node 1 (3-10 mm) .....	106
Gambar 2 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (3-10 mm).....	107
Gambar 3 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (3-10 mm).....	108
Gambar 4 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (10-50 mm).....	109
Gambar 5 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (10-50 mm).....	110
Gambar 6 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (10-50 mm).....	111
Gambar 7 ETA pada STS LNG Transfer node 1 (50-150 mm).....	112
Gambar 8 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (50-150 mm).....	113
Gambar 9 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (50-150 mm).....	114
Gambar 10 Data Statistik Arah dan Kecepatan Angin	116
Gambar 11 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Barat.....	117
Gambar 12 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Barat.....	117
Gambar 13 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Barat.....	118
Gambar 14 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Selatan.....	119
Gambar 15 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Selatan.....	119

Gambar 16 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Selatan.....	120
Gambar 17 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Selatan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 18 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Timur.....	121
Gambar 19 Gambar 19 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Timur.....	121
Gambar 20 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Timur.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 21 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Timur.....	122
Gambar 22 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Utara.....	123
Gambar 23 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Utara.....	123
Gambar 24 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Utara.....	124
Gambar 25 Fire Modelling Gas Dispersion Small – Arah Barat.....	127
Gambar 26 Fire Modelling Gas Dispersion Medium – Arah Barat.....	127
Gambar 27 Fire Modelling Gas Dispersion Large – Arah Barat.....	128
Gambar 28 Fire Modelling Jet Fire Large .....	129
Gambar 29 Fire Modelling Jet Fire Medium .....	129
Gambar 30 Fire Modelling Jet Fire Small .....	130
Gambar 31 F-N Curve Gas Dispersion Large.....	134
Gambar 32 F-N Curve Gas Dispersion Medium .....	135
Gambar 33 F-N Curve Gas Dispersion Small.....	136
Gambar 34 F-N Curve Jet Fire Large .....	137
Gambar 35 F-N Curve Jet Fire Medium .....	138

Gambar 36 F-N Curve Jet Fire Small .....	139
Gambar 37 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Barat .	140
Gambar 38 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Barat .....	141
Gambar 39 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Barat .	142
Gambar 40 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Selatan .....	143
Gambar 41 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Selatan .....	144
Gambar 42 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Selatan .....	145
Gambar 43 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Utara.	146
Gambar 44 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Utara .....	147
Gambar 45 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Utara.	148
Gambar 46 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Timur	149
Gambar 47 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Timur .....	150
Gambar 48 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Timur	151

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi LNG .....	5
Tabel 2. 2 Data Teknis Operasional KMP. Labobar .....	8
Tabel 2. 3 Data Teknis Terminal GSN .....	10
Tabel 2. 4 Contoh prosedur LNG Bunkering Ship to Ship .....	12
Tabel 2. 5 Kriteria Operasi Kapal Ship to Ship LNG Transfer .....	15
Tabel 4. 1 Pembagian Node pada P&ID .....	39
Tabel 4. 2 HAZOP pada Node 1 .....	42
Tabel 4. 3 HAZOP pada Node 2 .....	46
Tabel 4. 4 HAZOP pada Node 3 .....	50
Tabel 4. 5 <i>Compatibility matrix</i> skenario yang terjadi pada fasilitas.....	54
Tabel 4. 6 Frekuensi Kegagalan Komponen pada Node 1 per tahun.....	56
Tabel 4. 7 Frekuensi Kegagalan Komponen pada Node 2 per tahun.....	57
Tabel 4. 8 Frekuensi Kegagalan Komponen pada Node 2 per tahun.....	58
Tabel 4. 9 Frekuensi terjadinya overpressure akibat kegagalan komponen pada sistem.....	61
Tabel 4. 10 Rekap Hasil Perhitungan Flow Gas Release .....	62
Tabel 4. 11 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 1 .....	65
Tabel 4. 12 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 2 .....	65
Tabel 4. 13 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 3 .....	65

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Fire Modelling Jet Fire pada rentang kebocoran Large (50-150 mm) .....	70
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Fire Modelling Flash Fire pada rentang kebocoran Large - Barat (50-150 mm) .....	77
Tabel 4. 16 Kadar Gas Methane dan Konsekuensinya .	81
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Fire Modelling Gas Dispersion pada rentang kebocoran Large–Barat (50-150mm) .....	82
Tabel 4. 18 Hasil Rekap Jet Fire untuk rentang kebocoran Large - Barat (50-150 mm) .....	85
Tabel 4. 19 Hasil Rekap Flash Fire untuk rentang kebocoran Large - Barat (50-150 mm) .....	88
Tabel 4. 20 Hasil Rekap Flash Fire untuk rentang kebocoran Large-Barat (50-150 mm) .....	91



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

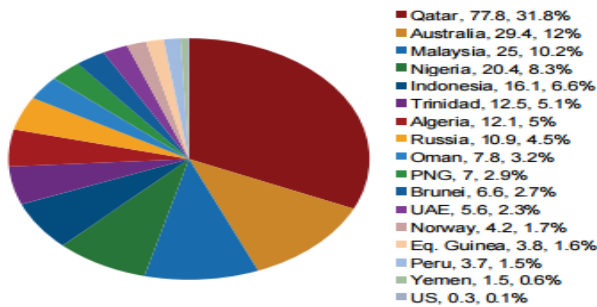
Ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar minyak, menjadi salah satu alasan menipisnya cadangan minyak bumi. Hal ini dibuktikan bahwa Indonesia adalah importir minyak terbesar ke 2 di dunia. Produksi dan cadangan minyak Indonesia juga terus menurun, tercatat jumlahnya hanya sekitar 3,5 miliar barel, dengan produksi minyak per hari 800.000 barel maka cadangan tersebut akan habis kurang dari 10 tahun. (finance.detik.com)

Pada sektor maritim, sebagian besar kapal masih menggunakan bahan bakar yang berasal dari fosil. Hal itu menyebabkan berkurangnya cadangan minyak bumi karena ketergantungan ini. Dengan menyadari keadaan minyak yang semakin langka maka produsen mesin kapal memberikan inovasi dengan menghadirkan mesin berbahan bakar gas dan minyak (Dual Fuel) sebagai pengganti mesin konvensional.

LNG adalah gas alam yang telah diproses dan dicairkan pada temperature  $-162^{\circ}\text{C}$  dalam kondisi tekanan atmosfer. LNG juga merupakan salah satu bahan bakar ramah lingkungan.

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor LNG terbesar di dunia. Tercatat sebesar 16.1 MTPA hasil LNG Indonesia di ekspor untuk kebutuhan Internasional (IGU World LNG Report 2016). Keuntungan menggunakan LNG adalah kandungan SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> dalam emisi gas buang lebih kecil jika dibandingkan dengan bahan bakar kapal pada umumnya seperti *Residual Oil*, *Marine Diesel Oil* dan *Gas Oil*. Keuntungan lain dalam menggunakan LNG adalah harga operasional yang lebih murah 20-25% jika dibandingkan dengan solar.

Figure 3.2. LNG Exports and Market Share by Country (in MTPA)



Note: Numbers in the legend represent total 2015 exports in MT, followed by market share. Sources: IHS, IGU

### Gambar 1. 1 Jumlah Ekspor LNG Negara 2016

Sumber : IGU World LNG Report 2016

PT. PELNI salah satu perusahaan pelayaran di Indonesia memiliki rencana untuk mengganti *engine* pada armada kapalnya yang sebelumnya menggunakan MDO menjadi *Dual Fuel*.

Terdapat beberapa skema dalam pengisian bahan bakar LNG pada kapal antara lain *Ship to Ship*, *Truck to Ship* dan *Onshore to Ship*. Pengisian Bahan Bakar LNG yang direncanakan akan dilakukan dengan skema *ship to ship* di area pelabuhan penumpang sehingga jika terjadi kecelakaan akan mengakibatkan kerugian yang besar baik material maupun korban jiwa. Oleh karena itu untuk meminimalkan risiko penyebab-penyebab yang mungkin terjadi, juga seberapa besar kemungkinan tersebut dapat terjadi, beserta bahaya yang dapat ditimbulkan akibat terjadinya kecelakaan pada saat pengisian bahan bakar maka perlu diadakan studi teknis SIMOPS (Simultaneous Operations) ketika terjadi aktivitas penumpang disekitar kapal pada saat pengisian bahan bakar LNG.

## **I.2 Tempat Pelaksanaan**

Tempat yang digunakan untuk mendapatkan informasi dan data-data adalah Laboratorium Keandalan dan Keselamatan Kapal, Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS Surabaya.

## **I.3 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana desain P&ID Ship to Ship LNG transfer?
2. Bagaimana identifikasi bahaya pada proses pengisian bahan bakar LNG pada kapal penumpang berdasarkan standart BS IEC 61882 (HAZOP)?
3. Bagaimana menganalisa frekuensi bahaya pada proses pengisian bahan bakar LNG pada kapal penumpang dengan menggunakan FTA?
4. Bagaimana menganalisa konsekuensi bahaya pada proses pengisian bahan bakar LNG pada kapal penumpang dengan menggunakan software ALOHA?
5. Bagaimana representasi dan tindakan mitigasi berdasarkan LOPA resiko bahaya pada kapal penumpang ketika melakukan bunkering LNG?

## **I.4 Batasan Masalah**

1. Penilaian Risiko dilakukan hanya pada kapal KM. Labobar.
2. Penilaian Risiko yang dilakukan hanya pada skema ship to ship.
3. Penilaian Risiko hanya dilakukan di area pelabuhan Penumpang Tanjung Perak, Surabaya.
4. Arah Mata Angin untuk simulasi adalah Utara, Selatan, Timur dan Barat

## **I.5 Tujuan Penulisan**

1. Mendesain P&ID LNG Ship to Ship Transfer

2. Mengidentifikasi *hazard* yang ada saat proses *bunkering LNG* pada kapal penumpang sesuai dengan standar BS IEC 61882 (HAZOP).
3. Menganalisa frekuensi bahaya yang terjadi dengan menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*) pada proses *bunkering LNG* pada kapal penumpang.
4. Menganalisa konsekuensi bahaya dengan simulasi *software Aloha 5.4.4.* pada proses *bunkering LNG* pada kapal penumpang.
5. Melakukan tindakan mitigasi dengan metode LOPA(*layer of protection analysis*) sesuai standar IEC 61511 apabila risiko berada pada taraf tidak diterima.

## **L.6 Manfaat Skripsi**

1. Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat risiko dan kejadian bahaya yang dapat terjadi di fasilitas Ship to Ship LNG Transfer dan Hasil Penelitian ini dapat digunakan untuk beberapa pihak otoritas pelabuhan dan operator kapal untuk mengetahui bahaya apa saja yang mungkin terjadi ketika proses ini dilakukan.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **II.1 LNG (*Liquified Natural Gas*)**

LNG adalah gas alam yang didinginkan pada suhu  $-162^{\circ}\text{C}$  sehingga fase gas berubah menjadi fase cair dan memiliki pengurangan volume 1/600 kali volume asalnya. Kandungan kalori LNG tergolong tinggi, yaitu sekitar 12.000 kkal/kg. Kandungan ini lebih tinggi dari bahan bakar fosil lain seperti barubara dan minyak tanah. LNG menawarkan energi yang sebanding dengan minyak bumi dengan kadar polusi yang lebih rendah. Sedangkan kekurangan LNG adalah biaya produktif yang relatif tinggi dan kebutuhan penyimpanannya yang menggunakan tangki *cryogenic* dinilai mahal. LNG kini mulai digunakan sebagai bahan bakar pada kapal, baik dikombinasikan dengan bahan bakar minyak maupun sepenuhnya berbahan bakar LNG.

Tabel dibawah ini menunjukkan kandungan karbon pada LNG di Gujarat, India.

**Tabel 2. 1 Komposisi LNG**

Komponen	Kandungan
Methane (C1)	not less than 85 Mol %
Ethane (C2)	not more than 9.2 Mol %
Propane (C3)	not more than 3.00 Mol %
Butanes (C4) and heavier	not more than 2.00 Mol %
Pentanes (C5) and heavier	not more than 0.25 Mol %
Nitrogen (N2)	not more than 1.25 Mol %
Oxygen (O2)	not more than 0.5 Mol %

Sumber : Sabarmati Gas Ltd.

## II.2 Sistem Bunkering

*Bunkering* adalah proses pemindahan bahan bakar pada kapal. Pada umumnya terdapat tiga opsi bunkering diantaranya adalah *onshore to ship*, *ship to ship*, dan *truck to ship*.

### II.2.1 Onshore to Ship

Opsi bunkering dengan menggunakan skema *onshore to ship* sesuai jika permintaan akan LNG bunkering cukup besar. Pada skema ini diperlukan investasi yang besar dan jangka panjang.



**Gambar 2. 1** Proses Bunkering LNG Opsi Onshore ke kapal  
(Sumber: cryonorm.com)

### II.2.2 Truck to Ship

Skema *truck to ship* sesuai jika kebutuhan LNG tidak terlalu besar dan bersifat jangka pendek. Kekurangan opsi ini adalah kapasitas yang kecil, sehingga *bunkering* melalui *ship to ship* lebih cocok digunakan pada kapal-kapal membutuhkan LNG dalam kapasitas besar.



**Gambar 2. 2** Proses Bunkering LNG Opsi Truk ke Kapal  
(Sumber: marinelink.com)

### **II.2.3 *Ship to ship***

*Bunkering* dengan skema *ship to ship to ship* dapat dilaksanakan ketika kapal berada di dermaga ketika bersandar atau ketika kapal berada di laut. Ditinjau dari kapasitas dan lokasi *bunkering* yang digunakan, opsi kapal ke kapal sangat fleksibel. Namun demikian perlu investasi awal yang harus dikeluarkan untuk pengadaan *bunker vessel*.



**Gambar 2. 3** Proses Bunkering LNG Opsi Kapal ke Kapal

### **II.3 Data Spesifikasi KMP. Labobar**

KMP. Labobar merupakan salah satu kapal milik PELNI yang direncanakan akan dilakukan modifikasi sehingga motor

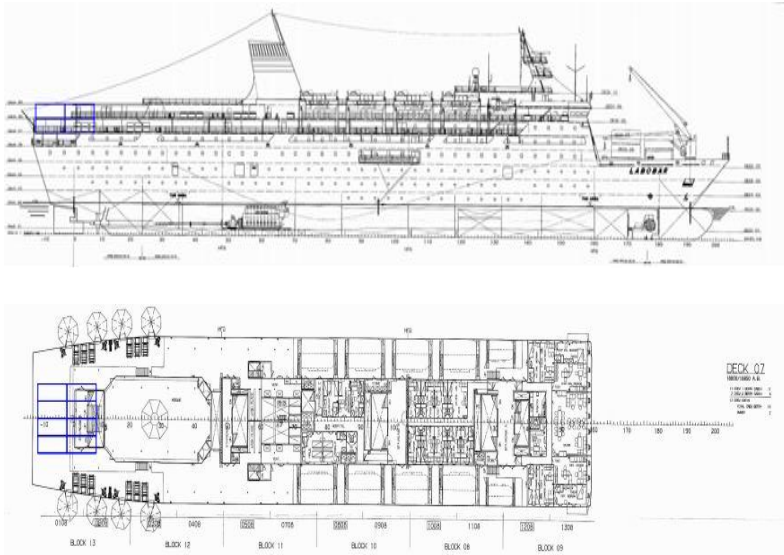
penggerak kapal ini dapat menggunakan LNG sebagai bahan bakar kapal ini.

- Nama Kapal : KM. Labobar
- Perusahaan : PT. PELNI
- Jenis : Kapal Penumpang
- Kapasitas : 3000 Penumpang
- LOA : 146.5 m
- LBP : 130 m
- Breadth : 23.4 m
- Draught : 5.9 m
- Velocity : 22.4 Knot (max)
- Main Engine : Caterpillar 9 M 43

**Tabel 2. 2 Data Teknis Operasional KMP. Labobar**

Surabaya-Makassar		
Jarak	384	Nm
Layar	25	Jam
Sandar (Surabaya)	53	Jam
Sandar (Makassar)	4	Jam
Vs	15.4	Knot
Kapasitas Tangki	183.3	m <sup>3</sup>
Berth/Unberth	1	Jam
STS LNG Transfer	1	Jam



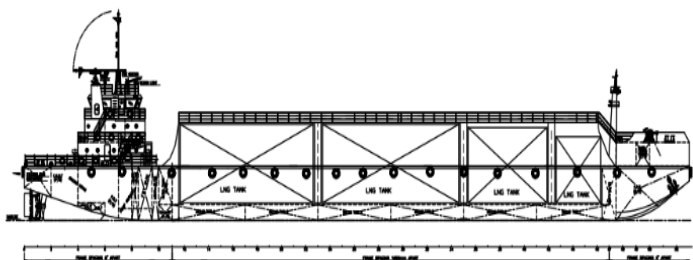


**Gambar 2. 4** Gambar 2.3 Design LNG Tank KMP. Labobar  
(Sumber: Adi Mas Nizar, 2016)

## II.4 Data Spesifikasi LNG Bunker Shuttle

Kapal *LNG Bunker Shuttle* adalah kapal pengangkut LNG dilengkapi dengan fasilitas untuk mengisi bahan bakar pada kapal menggunakan *flexible hose*.

- Kapasitas : 350 m<sup>3</sup>
- Tipe Kapal : LNG Bunker Shuttle
- LOA : 41.5 m
- Breadth : 10 m
- Draught : 2.5 m
- Velocity : 6.0 knot (Service)
- Pump Capacity : 183.3 m<sup>3</sup>/hour

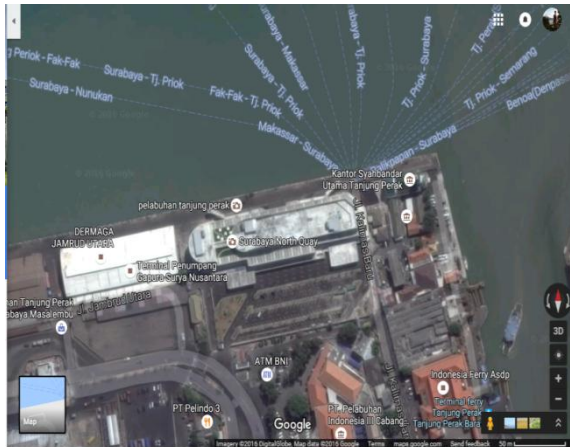


**Gambar 2. 5** Design LBG Bunker Shuttle  
(Sumber: Agastana, 2016)

**II.5 Data Spesifikasi Terminal Penumpang**

Pelabuhan penumpang yang digunakan pada penelitian ini adalah pelabuhan penumpang Surabaya North Quay, Terminal Penumpang Gapura Surya Nusantara, Tanjung Perak Surabaya.

Tabel 2. 3 Data Teknis Terminal GSN		
Data Pelabuhan Penumpang		
Nama	Surabaya North Quay	
Perusahaan	PT. Pelindo III	
Luas	13.273	Ha
Kapasitas	4000	Org
Panjang	174	m
Lebar	39	m



**Gambar 2. 6** Surabaya North Quay Terminal Penumpang GSN  
(Sumber : Google Earth)

## II.6 SIMOPS (Simultaneous Operations)

Studi SIMOPS perlu dilakukan jika pemilik kapal atau operator kapal ingin melakukan aktivitas lain seperti aktivitas penumpang disekitar kapal pada saat pengisian bahan bakar LNG. Pada Bunkering LNG, penilaian studi SIMOPS berfokus pada aktivitas yang dapat meningkatkan kemungkinan keluarnya gas pada saat pengisian bahan bakar. Studi SIMOPS akan membantu mengidentifikasi potensi bahaya pada saat proses bunkering LNG dan menentukan apakah aktivitas tersebut dilarang atau dapat dilaksanakan akan tetapi sesuai dengan kondisi yang tertentu.

Pada kapal cargo seperti *container carrier* , saat bongkar muat dan pengisian bahan bakar yang bersamaan dapat menyebabkan terjadinya percikan api yang bisa memicu terjadinya kebakaran dan ledakan.

Pada kapal penumpang, perlu dilakukan studi teknis tentang SIMOPS ketika operator kapal ingin melakukan pengisian bahan bakar LNG sedangkan masih adanya

penumpang yang berada didalam kapal atau pada saat ketika penumpang ingin memasuki kapal dan keluar kapal.

## II.7 Prosedur Ship to Ship Bunkering LNG

Bunkering LNG adalah memindahkan bahan bakar dari *LNG Bunker Shuttle* ke Kapal penerima. Equipment yang digunakan adalah :

1. *Flexible Hose*
2. *Cryogenic Pump*
3. *LNG Storage Tank*

**Tabel 2. 4 Contoh prosedur LNG Bunkering Ship to Ship**

Task Description	Procedures
Operation Before Bunkering	<p>Both ships must check the LNG tanks regarding temperature and pressure prior to bunkering and note this on the pre-transfer bunker checklist.</p> <p>Lines, fenders, winches and other mooring equipment is to be visually checked for wear or damages.</p> <p>Minimum two main fenders to be rigged alongside.</p> <p>Dedicated bunker ships may be fitted with specialised hose handling equipment, but a rather common way would be to use a hose crane to deliver bunker hoses from the bunker ship to the receiving ship.</p>

Task Description	Procedures
Operation during Bunkering	<p data-bbox="572 231 921 571">A document with agreed amount and transfer rate, clearly stating the quantities of fuel to be transferred, the transfer rate, start and topping up rate and max. pressure at manifold, is to be filled out and signed by the responsible officers on both ships</p> <p data-bbox="572 606 921 735">After receiving signed documents it is allowed to first open the manual bunker valves.</p> <p data-bbox="572 770 921 1007">After ready signals are given and personnel are out of the bunker area, the cargo pumps can be started and ramped up in a controlled manner until the agreed start transfer rate is achieved.</p> <p data-bbox="572 1042 921 1209">The cargo pumps shall be ramped down to an agreed topping up rate when the total transfer amount is almost reached</p>

**Tabel 2.4** Lanjutan Contoh prosedur LNG Bunkering Ship to Ship

Task Description	Procedures
Operation After Bunkering	<p>The liquid that remains in the bunker hoses, after the pumps have stopped, must be drained before disconnection.</p> <p>The valves, at both manifolds, are to be closed when the hoses are purged.</p> <p>The bunker lines and vapour return, on the receiving ship, can be disconnected after the lines have been purged from liquid and valves are closed.</p> <p>After transferring documents, the unmooring sequence can begin. The mooring lines are loosened, drawn back and stored, under supervision of the responsible officer while taking wind and current conditions into account.</p> <p>The receiving ship must inert the bunker lines before departure, which means that the inerting sequence is to start as soon as the hoses are disconnected from the manifold and run until lines are gas free.</p>

(Sumber : Swedish Marine Technology Forum)

## II.8 Faktor Eksternal

Faktor yang mempengaruhi olah gerak kapal selain faktor kapal itu sendiri juga ada faktor dari luar. Faktor luar itu

adalah faktor yang datanganya dari luar kapal antara lain seperti arus, ombak dan keadaan perairan.

### II.8.1 Keadaan Laut

Keadaan laut ditentukan oleh pengaruh angin, ombak dan arus. Pengaruh angin sangat mempengaruhi olah gerak kapal terutama ditempat tempat yang sempit, dan pada saat kapal kosong.

**Tabel 2. 5 Kriteria Operasi Kapal Ship to Ship LNG Transfer**

Aktifitas	Keterangan
Untuk kapal LNG selama operasi pergerakan untuk berlabuh	Kecepatan angin = 20 Knot (max) Tinggi gelombang = 1.5 m Kecepatan arus = 1.2 Knot (max)
Uktuk kapal LNG selama operasi transfer LNG	Kecepatan angin = 20 Knot (max) Tinggi gelombang = 1.5 m Kecepatan arus = 1.2 Knot (max)
Flexible Hose diputus (Disconnection)	Kecepatan angin diatas = 25 Knot Tinggi gelombang diatas = 1.5 m Kecepatan arus = 1.5 Knot.
Untuk kapal LNG selama berada di dermaga	Kecepatan angin = 30 Knot (max) Untuk tetap berada di dermaga, tetapi kapal harus diballast untuk menurunkan draft kapal sehingga mengurangi daerah angina pada freeboard.
Untuk kapal dalam keadaan lingkungan buruk selama bersandar di dermaga	Kecepatan angina lebih dari 30 Knot, kapal harus meninggalkan dermaga untuk parker didaerah perairan

(Sumber : Fikri, 2016)

## **II.9 Risk Assessment**

*Risk assessment* adalah sebuah proses penilaian untuk meningkatkan keselamatan baik dalam bentuk asset, lingkungan maupun jiwa. Sebuah penilaian resiko didapatkan dari analisa sebelumnya dengan melakukan identifikasi terhadap potensi bahaya (*hazard*), frekuensi terjadinya suatu resiko, konsekuensi yang dapat terjadi. Hasil dari rangkaian proses tersebut akan diplotkan pada F-N Curve untuk mengetahui tingkat fatalitas dari suatu sistem, apakah risiko dapat diterima atau harus dilakukan langkah mitigasi untuk menurunkan potensi risiko tersebut.

### **II.9.1 Hazard Identification**

Bahaya adalah potensi dari rangkaian sebuah kejadian muncul dan menimbulkan kerugian. Jika salah satu bagian dari serangkaian kejadian hilang, maka suatu kejadian tidak akan terjadi (Tranter, 1999).

Identifikasi Bahaya dimulai dari mendefinisikan fungsi dari suatu *system* beserta proses kerja sistem itu sendiri. Selanjutnya adalah melakukan identifikasi potensi bahaya (*hazard*) yang dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian bahkan kematian. Proses selanjutnya adalah bahaya tersebut. Analisis bisa secara kualitatif maupun kuantitatif. Terdapat beberapa metode untuk mengidentifikasi bahaya antara lain : HAZID, HAZOP dan FMEA. Metode yang digunakan untuk menganalisa bahaya pada penelitian ini menggunakan HAZOP (Hazard Operability).

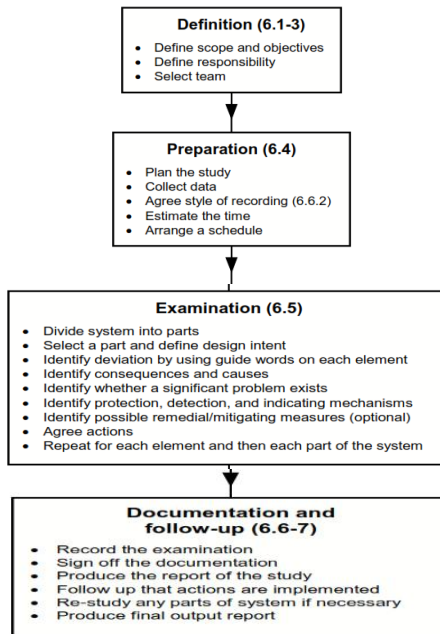
#### **II.9.1.1 HAZOP**

HAZOP atau *Hazard and Operability* adalah salah satu cara untuk melakukan identifikasi potensi bahaya yang terdapat pada suatu sistem. Pendekatan HAZOP meliputi pemeriksaan pada sistem, proses yang terjadi di suatu fasilitas serta melakukan evaluasi terhadap deviasi yang terjadi pada sistem tersebut. Deviasi adalah penyimpangan-penyimpangan



yang dapat terjadi dalam suatu sistem. Penyimpangan-penyimpangan didasarkan pada kata kunci yang telah diatur sebelumnya oleh BS IEC 61882- HAZOP Guideline.

Langkah pengerjaan HAZOP dimulai dengan Identifikasi potensi bahaya berhubungan dengan perancangan dan operasional sistem. Langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi terhadap *safeguard* yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya. Selanjutnya mengevaluasi *safeguard* dan prosedur serta memberikan rekomendasi terhadap penambahan *safeguard* jika diperlukan.



**Gambar 2. 7** Prosedur Melakukan HAZOP  
(Sumber : BS IEC 61882-HAZOP)

Berikut adalah contoh *guide word* dalam menggunakan HAZOP

Guidewords	+	Parameter	=	Deviasi
NO	+	FLOW	=	NO FLOW
MORE	+	PRESSURE	=	HIGH PRESSURE
AS WELL AS	+	ONE PHASE	=	TWO PHASE

**Tabel 2. 6** Tabel Kata Pedoman Identifikasi HAZOP  
(Sumber: UK HSE)

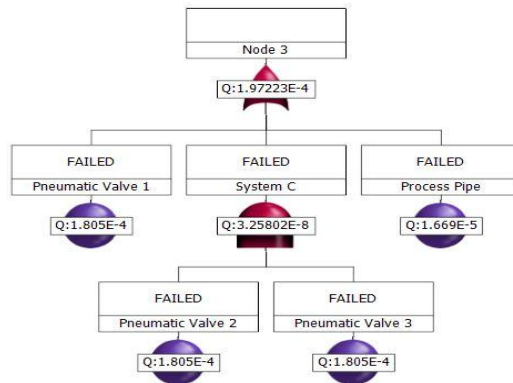
## II.9.2 Analisa Frekuensi

Analisa Frekuensi merupakan analisa mengenai peluang munculnya suatu kejadian berbahaya terjadi. Terdapat beberapa metode dalam melakukan analisa frekuensi anatara lain:

### II.9.2.1 *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA ( *Fault Tree Analysis*) adalah salah satu metode yang digunakan dalam menganalisa frekuensi suatu kejadian berbahaya dengan menggunakan model logika dari mekanisme kegagalan sistem.

Analisa FTA menggunakan bantuan diagram logika. Diagram logika terdiri dari symbol gerbang logika dan karakter penyebab kegagalan. Langkah awal dalam analisa ini adalah identifikasi mode kegagalan dari *top event* ke *basic event* dengan bantuan *logical gate*. Penyebab dari *kegagalan* atau *top event* akan di *break down* hingga *basic event*. *Top event* dan *basic event* akan dihubungkan dengan hubungan logika *AND* dan *OR*.



**Gambar 2. 8** Fault Tree Analysis

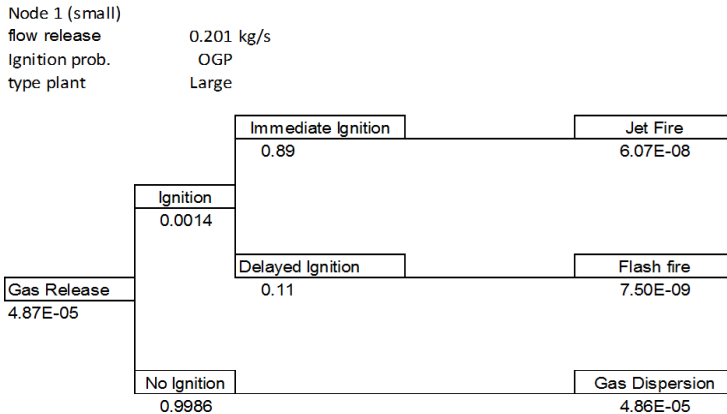


**Gambar 2. 9** Logical Gate  
(Sumber : <https://conceptdraw.com>)

### II.9.2.2 Event Tree Analysis (ETA)

*Event Tree Analysis* (ETA) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui kejadian yang mungkin terjadi dan seberapa besar kemungkinannya berdasarkan *initiating event* yang ada. *Initiating event* adalah kesalahan atau kejadian yang terjadi pada sistem yang menyebabkan

terjadinya rangkaian kecelakaan. ETA berguna untuk mengetahui dan melakukan evaluasi seberapa besar *initiating event* akan berkembang hingga menjadi kecelakaan yang serius.



**Gambar 2. 10** Event Tree Analysis

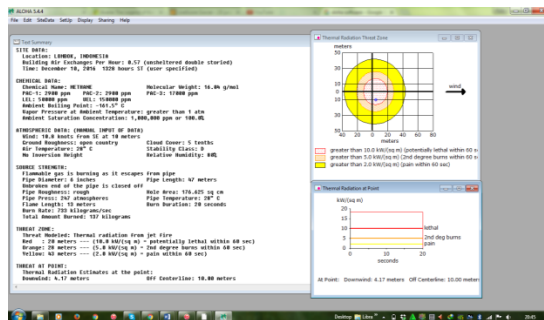
## II.9.3 Analisa Konsekuensi

Analisa konsekuensi adalah analisa mengenai dampak yang dapat terjadi disebabkan oleh potensi bahaya. Dalam penelitian kali ini, analisa konsekuensi akan menggunakan software ALOHA 5.4.4.

### II.9.3.1 ALOHA 5.4.4

ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi terjadinya bahaya dalam suatu fasilitas maupun sistem. ALOHA dapat berapa kandungan kimia yang keluar saat terjadinya kebocoran pada pipa, tangki bertekanan, tumpahan minyak serta menampilkan beberapa simulasi kebakaran dan ledakan beserta radius persebaran panas akibat ledakan dan kebakaran.

Pada umumnya ALOHA dapat memberikan simulasi tentang persebaran gas, kebakaran dan ledakan. Dalam simulasi kebocoran gas, ALOHA dapat memberikan luasan area yang terkena efek gas beserta kadar racun dari gas yang bocor dalam satuan ppm. Dalam simulasi kebakaran seperti jet fire dan pool fire, ALOHA dapat menampilkan persebaran panas dan dampak pada lokasi kejadian. Sedangkan untuk simulasi ledakan, seperti *BLEVE* dan *flash fire*. Aloha dapat menampilkan efek ledakan dan dampak bagi lingkungan sekitar.



Gambar 2. 11 Fire modelling dengan ALOHA 5.4.4

## II.10 Jet fire

*Jet fire* adalah kebakaran yang terjadi akibat adanya difusi turbulen yang dihasilkan oleh gas yang berasal dari tangki atau pipa yang bertekanan tinggi.

Pada saat gas alam berada dalam bentuk cair (LNG) dan bertekanan rendah sangat kecil kemungkinan jet fire terjadi. Jet fire dapat terjadi selama proses bongkar muat atau proses pemindahan dimana tekanan gas akan naik karena dipompa.

*Jet fire* dapat menyebabkan kematian dan kerusakan yang cukup parah pada lingkungan sekitar, namun efek *jet fire* hanya terjadi disekitar lokasi fasilitas yang mengalami kebocoran gas.



**Gambar 2. 12 *Jet fire***  
(Sumber : <http://www.technokontrol.com>)

### **II.11 *Pool Fire***

*Pool fire* adalah kebakaran yang terjadi akibat adanya difusi api diatas permukaan tanah. Hal ini disebabkan oleh penguapan senyawa hidrokarbon (HSE). Terdapat 3 zona api pada pool fire, yaitu zona kontinyu, zona intermitten dan zona kepulan asap.



**Gambar 2. 13 *Pool Fire***  
(Sumber : <https://truthernews.files.wordpress.com>)

## II.12 *Flash fire*

*Flash fire* adalah kebakaran singkat dengan durasi waktu sekitar 0-5 detik. Fenomena ini seperti ledakan-turbulensi campuran antara gas mudah terbakar dan udara yang menyebabkan kebakaran kilat.

Ada 2 hal yang menjadi penyebab dari *Flash fire*, yaitu gas dispersion (hidrokarbon gas) dan LNG dalam fase cair yang membentuk pool. Jika genangan pool berubah fase menjadi *vapour* maka flash fire dapat terjadi.

Selain *flash fire*, terdapat jenis kebakaran kilat yang disebut VCE (*Vapour Cloud Explosion*). VCE memiliki durasi kebakaran yang lebih cepat, hamper menyamai kecepatan suara (Aliyah,2014). Terdapat 2 jenis kebakaran dalam VCE, yaitu deflaragsi dan detonasi. Efek dari *Flash fire* ataupun VCE adalah *overpressure* seperti ledakan pada umumnya.



**Gambar 2. 14** *Flash fire*

(Sumber : <http://news.asiaone.com>)

## II.13 BLEVE

*BLEVE* atau *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* adalah kebakaran yang diakibatkan karena bocor atau pecahnya bejana bertekanan karena efek panas dari luar atau tekanan yang terlalu tinggi pada suhu diatas titik didih fluida

didalam bejana. Kebakaran dapat disebabkan oleh kesalahan mekanik atau elektro magnetik yang menyebabkan pendidihan fluida didalam bejana. Pada umumnya *BLEVE* dapat menimbulkan *fire ball*, *misile* dan *overpressure* secara bersamaan.



**Gambar 2. 15 BLEVE**

(Sumber : <https://41.media.tumblr.com>)

## **II.14 Gas dispersion**

*Gas dispersion* adalah rilisnya gas dalam fasa gas akibat adanya kebocoran pipa atau *instrument* pendukung lain dalam suatu sistem. Kemungkinan fenomena ini dapat terjadi dalam sistem gas, antara lain :

1. Gas berada dalam kondisi tekanan tinggi
2. Kebocoran pipa, *instrument* lain
3. Tidak ada sumber panas atau api

*Gas Dispersion* adalah salah satu insiden yang sering terjadi pada fasilitas gas di suatu sistem akibat kegagalan komponen, bocornya pipa dan instrument pendukung. Akibat terjadinya *Gas dispersion* adalah munculnya masalah pernafasan manusia akibat berkurangnya kadar oksigen di udara bebas disekitar fasilitas, kerusakan pada sistem saraf pusat hingga mengakibatkan kematian pada manusia.



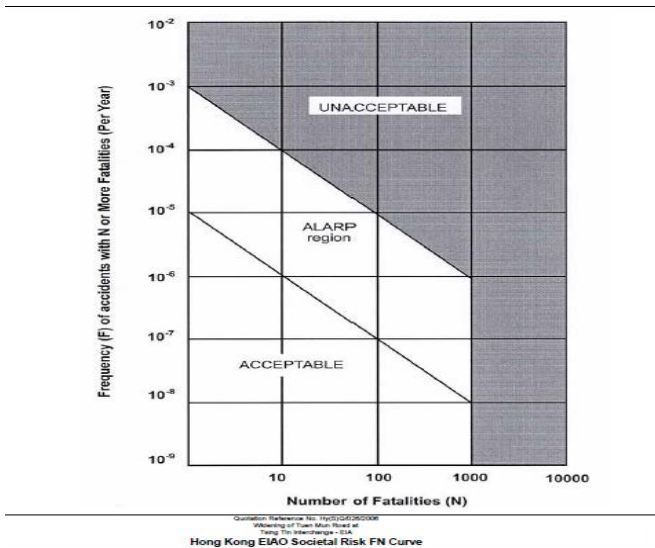


**Gambar 2. 16** *Gas dispersion*  
(Sumber : <http://images.tenplay.com.au>)

### **II.15 *F-N Curve***

*F-N Curve* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara “F” sebagai frekuensi kejadian dan juga “N” sebagai jumlah korban yang terkena dampak kejadian .

Sumbu Y pada grafik merepresentasikan tentang rekuensi kejadian dan sumbu X menrepresentasikan tentang jumlah korban. Keduanya disajikan melalui perpotongan sumbu yang menghasilkan jumlah korban per satuan waktu (tahun). Pada penelitian ini, representasi risiko akan disajikan sesuai dengan standar *Hongkong Government Risk Guidelines (HKRG)*.



**Gambar 2. 17 F-N Curve**  
 (Sumber : HKRG Societal risk FN Curves)

## II.16 Fuzzy Inference System (FIS) – Mamdani

Metode *Fuzzy Inference System* adalah salah satu metode yang dapat membantu dalam melakukan penalaran terhadap suatu sistem seperti prinsip naluri manusia. Terdapat beberapa macam metode dalam Fuzzy Inference System yaitu :

- Mamdani
- Sugeno
- Tsukamoto

Pada Penelitian ini metode FIS yang digunakan adalah Mamdani. Hal ini dikarenakan metode mamdani adalah metode yang bekerja berdasarkan kaidah linguistic dan memiliki algoritma *fuzzy* yang dapat dianalisa secara

matematis. Walaupun suatu risiko berada pada zona *Acceptable*, akan tetapi masih ada kandungan risiko pada fasilitas tersebut. Besar nilai risiko tersebut tidak dapat dijawab dengan menggunakan F-N Curve. Sehingga dengan menggunakan metode FIS-Mamdani, tingkat dari suatu risiko dapat diperjelas.

Standard yang digunakan untuk menyelesaikan FIS-Mamdani adalah MIL-STD-882 *Department of Defense, Standard Practice for System Safety*.

### **II.16.1 Langkah Pengerjaan Menggunakan MATLAB**

MATLAB adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merepresentasikan tingkat dari suatu risiko. Input dari tingkat risiko yang ada diterjemahkan dalam bahasa *fuzzy*.

Langkah pengerjaannya adalah :

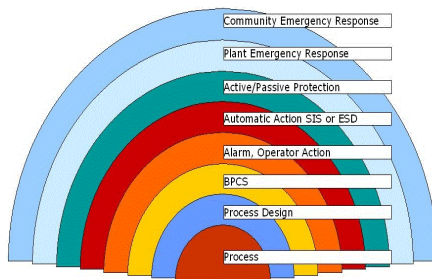
1. Lakukan Input dengan 2 variabel yaitu Frekuensi dan Konsekuensi pada MATLAB.
2. Melakukan pengisian *membership function* dengan tipe grafik *Gaussian*. Standard yang digunakan dalam MIL-STD-882D *Department of Defense, Standard Practice for System Safety*.
3. Menterjemahkan Risk Matrix yang diambil dari *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix* kedalam bahasa *fuzzy*.
4. Memasukkan input frekuensi dengan metode FTA dan ETA beserta konsekuensi menggunakan ALOHA untuk melihat tingkat risiko.

### II.17 LOPA (*Layer of Protection Analysis*)

Setelah mendapatkan representasi tentang frekuensi dan konsekuensi *F-N Curve* terdapat kemungkinan risiko tidak dapat diterima. Jika risiko tersebut tidak dapat ditolerir, maka upaya mitigasi harus dilakukan. Dengan menggunakan LOPA konsekuensi dari bahaya dan risiko dapat dievaluasi serta memberikan perlindungan dari risiko yang tidak dapat diterima.

Tujuan LOPA adalah memastikan lapisan perlindungan untuk mengantisipasi risiko dari bahaya yang muncul. Standart LOPA yang digunakan dalam penelitian ini adalah IEC 61511 – *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector*. Langkah-langkah umum dalam menggunakan metode LOPA :

1. Melakukan Identifikasi skenario.
2. Menentukan skenario kecelakaan.
3. Mengidentifikasi kejadian dan frekuensi kegagalan pertama.
4. Mengidentifikasi lapisan perlindungan dan kemungkinan kegagalan komponennya.
5. Memperkirakan risiko dari skenario kecelakaan.



Layer of Protection Model

**Gambar 2. 18** *Layer of Protection Analysis*

(Sumber : [www.safety-s2s.eu](http://www.safety-s2s.eu))

## **BAB III METODOLOGI**

Metodologi penelitian adalah gambaran umum mengenai prosedur dan langkah-langkah pengerjaan suatu penelitian. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahapan dalam pengerjaan skripsi ini nantinya. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan dalam *flow chart* Gambar 3.1 :

Untuk mendapatkan hasil yang baik dan terstruktur, dalam pengerjaan skripsi ini diperlukan prosedur dan langkah-langkah pengerjaan yang sistematis. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam skripsi ini antara lain

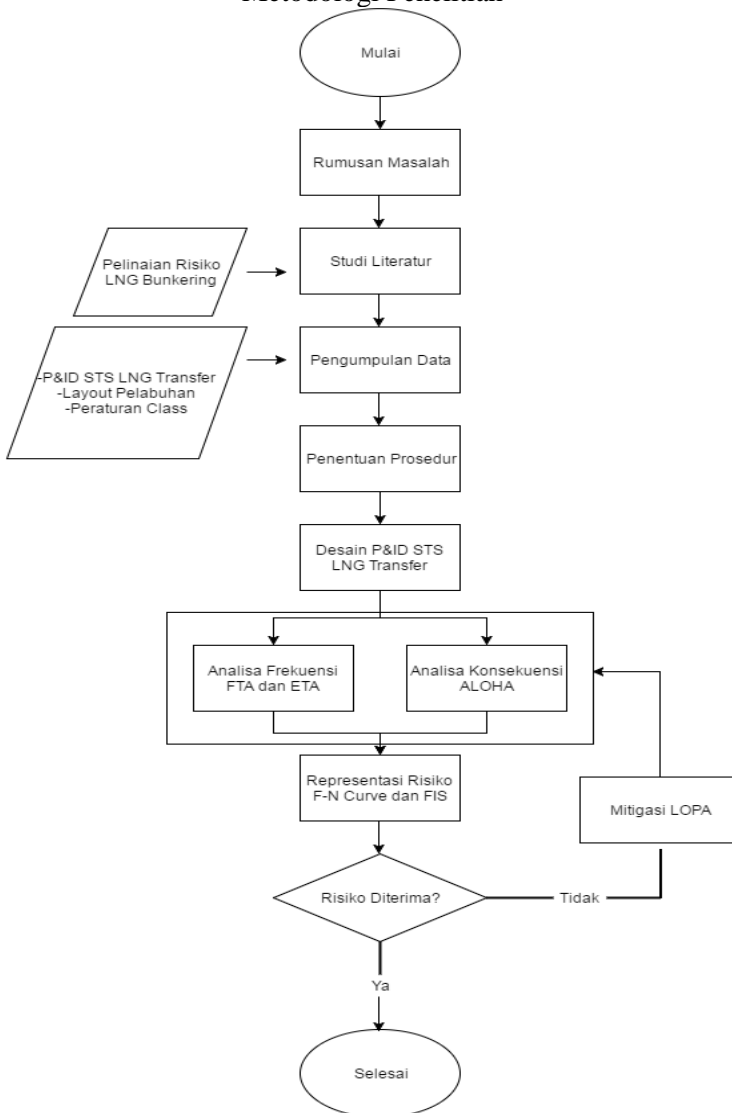
### **III.1 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah adalah tahap awal dalam mengerjakan skripsi. Dalam tahap ini suatu permasalahan harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Dari tahap ini tujuan mengapa skripsi dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas adalah Penilaian Risiko Sosial pada Kapal Penumpang saat Melakukan Pengisian Bahan Bakar LNG.

### **III.2 Studi Literatur**

Setelah permasalahan telah diketahui, maka tahap selanjutnya adalah studi literatur. Tahap ini adalah tahap dimana yang harus dilakukan adalah mencari referensi permasalahan berikut solusi dan juga mempelajari sehingga dapat diimplementasikan dalam skripsi ini. Studi literatur dalam mengerjakan skripsi dapat dilakukan dengan membawa paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

## Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian

Dalam hal ini referensi yang akan di pakai adalah sebagai berikut :

1. BS IEC 61882;2001 *HAZOP Study guidelines*
2. DNV *failure frequency guidance*
3. OGP (*International Oil and Gas Procedures*)
4. IEC 61511
5. ALOHA 5.4.4 *user guide*
6. Paper dan jurnal tentang *unloading LNG*
7. Paper dan jurnal tentang *Societal Risk Assesment*

### **III.3 Pengumpulan Data**

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan skripsi. Dalam hal ini data yang dibutuhkan antara lain :

1. P&ID STS LNG transfer
2. Spesifikasi *equipment*
3. Layout Terminal Penumpang GSN
4. Kondisi Alam
5. Jumlah orang yang berada di sekitar terminal

### **III.4 Opsi Bunkering**

Skenario bunkering adalah opsi dan pencarian solusi tentang keadaan yang memungkinkan dilaksanakannya proses bunkering LNG ditinjau dari kondisi alam, tingkat keamanan, efek lingkungan dan operasional.

Alternatif Proses Bunkering

Pada skripsi ini, terdapat 2 opsi bunkering dimana 1 opsi dilaksanakan di laut dan 1 opsi dilaksanakan di dermaga.

### **III.5 HAZOP Identification**

Pada tahap selanjutnya dilakukan HAZOP Identification yang mengacu pada P&ID dan data lain yang ada. Proses Identifikasi antara lain :

1. Memahami seluruh proses STS LNG Transfer

2. Memahami kegiatan operasinya
3. Mendefinisikan setiap sistem yang ada, setelah itu dilakukan pembagian node
4. Melakukan identifikasi deviasi pada setiap node
5. Identifikasi penyebab dan konsekuensi pada setiap node
6. Identifikasi *safeguard* yang terdapat pada sistem
7. Mengisi tabel HAZOP dan analisa sebagai datanya

### III.6 Analisa Frekuensi

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui nilai probabilitas dari setiap kegagalan yang terjadi pada setiap komponen dalam sistem. Dalam penelitian ini digunakan dua metode dalam menghitung frekuensi yaitu FTA dan ETA. Perhitungan frekuensi dilakukan berdasarkan HAZOP dan data P&ID *Ship to Ship LNG Transfer*.

Langkah – langkah pembuatan FTA adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi komponen dalam P&ID STS LNG Transfer
2. Membuat Skenario kegagalan komponen
3. Membuat *fault tree* dengan software *Relax*
4. Analisa dengan *cut set*
5. Analisa Kuantitatif

Sedangkan langkah – langkah pembuatan ETA adalah sebagai berikut :

1. Analisa *ignition probability* pada skenario kegagalan sistem
2. *Initial event* menggunakan nilai dari probabilitas dari perhitungan frekuensi menggunakan metode FTA

### III.7 Analisa Konsekuensi

Analisa Konsekuensi memiliki tujuan untuk mengetahui bahaya apa yang mungkin dapat terjadi yang disebabkan oleh potensi bahaya pada suatu fasilitas. Dalam penelitian ini analisa konsekuensi akan menggunakan perangkat lunak ALOHA 5.4.4.



### III.7 Representasi Risiko

Representasi risiko pada penelitian ini menggunakan *F-N Curve*, *F-N Curve* menjadi metode yang tepat untuk menentukan representasi risiko dalam penelitian ini. *F-N Curve* menggunakan standar *Hongkong Government Risk Guidelines (HKRG)*.

Pada penelitian ini representasi risiko juga menggunakan metode Fuzzy Inference System – Mamdani. Metode ini berfungsi untuk memperjelas tingkat risiko yang berada di *F-N Curve*.

### III.8 Analisa Mitigasi

Jika tingkat risiko berada pada zona yang tidak dapat diterima maka mitigasi harus dilakukan. Tindakan mitigasi pada penelitian ini menggunakan LOPA (*Layer of Protection Analysis*). Dengan LOPA akan diketahui IPL (*Independent Protection Layer*) yang sudah terpasang di suatu sistem/fasilitas yang risikonya tidak dapat ditolerir tersebut, jika tingkat perlindungan suatu sistem masih tidak bisa ditolerir, maka langkah penambahan IPL harus diambil seperti penambahan safety device dan alarm.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

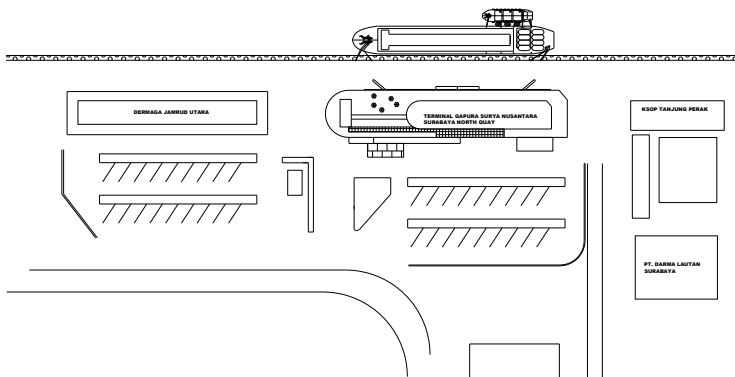
#### **IV.1 Gambaran Umum**

Pada skripsi ini kapal penumpang yang digunakan adalah KMP. Labobar dan lokasi yang digunakan adalah Terminal Penumpang Gapura Surya Nusantara, Tanjung Perak, Surabaya. Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai identifikasi bahaya menggunakan HAZOP dan metode perhitungan frekuensi kegagalan menggunakan FTA dan ETA beserta analisa konsekuensi menggunakan ALOHA.

#### **IV.2 Data**

Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

1. *Layout* terminal penumpang Gapura Surya Nusantara, Tanjung Perak.



**Gambar 4. 1Layout Terminal Penerima CNG**

2. *P&ID Ship to Ship LNG Transfer.*

P&ID adalah gambar detail alur dari suatu proses dan dalam penilaian risiko perlu adanya P&ID agar dapat dianalisa kemungkinan gagal komponen dalam sistem tersebut. KMP. Labobar belum memiliki P&ID sehingga

diperlukan desain *P&ID Ship to Ship LNG Transfer* pada kapal ini. P&ID menunjukkan jumlah komponen, instrument dan peralatan pendukung yang sesuai dengan sistem. P&ID yang digunakan untuk acuan dalam proses desain dan penelitian ini mengacu pada *Swedish Marine Technology Forum*. P&ID *Swedish Marine Technology Forum* dimodifikasi dan disesuaikan dengan keadaan sistem di KMP. Labobar.

### 3. Data Lingkungan

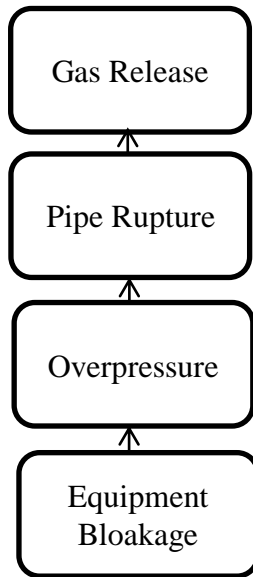
Data lingkungan dimaksud adalah kondisi lingkungan disekitar lokasi Terminal Penumpang Gapura Surya Nusantara. Data-data tersebut antar lain

- Suhu udara : 25-34° C
- Kelembaban : 61-85%
- Kecepatan angin : 3-31 knot
- Gelombang : 0.2-0.5 m

## IV.3 Analisa Resiko Ship to Ship LNG Transfer

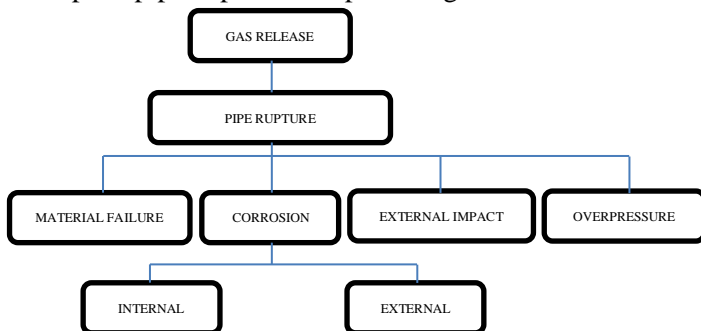
Pada proses Ship to Ship LNG Transfer terdapat beberapa kemungkinan terjadinya bahaya. Maka dari itu diperlukan proses penilaian resiko untuk mengetahui bahaya apa saja yang dapat terjadi. Pada proses ini terdapat komponen yang akan mengakibatkan kegagalan missal katup. Terdapat kemungkinan katup gagal terbuka pada saat LNG harus dialirkan maka hal ini akan mengakibatkan meningkatnya tekanan didalam pipa. Ketika pipa tidak dapat menahan tekanan tersebut kebocoran dapat terjadi. Resiko seperti *jet fire*, *flash fire* dan *BLEVE* bisa terjadi akibat bocornya pipa pada proses *LNG transfer*.

**Gambar 4. 2 P&ID Ship to Ship LNG Transfer**



**Gambar 4. 3** Proses terjadinya kebocoran pipa

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi proses terjadinya kebocoran pada pipa dapat dilihat pada diagram dibawah ini :



**Gambar 4. 4** Proses terjadinya *gas releas*

### IV.3.1 HAZOP

HAZOP atau *Hazard and Operability* adalah salah satu cara untuk melakukan identifikasi potensi bahaya yang terdapat pada suatu sistem. Pendekatan HAZOP meliputi pemeriksaan pada sistem, proses yang terjadi di suatu fasilitas serta melakukan evaluasi terhadap deviasi yang terjadi pada sistem tersebut. Deviasi adalah penyimpangan-penyimpangan yang dapat terjadi dalam suatu sistem. Penyimpangan-penyimpangan didasarkan pada kata kunci (*high, low, more dan less*) yang telah diatur sebelumnya oleh BS IEC 61882-HAZOP Guideline.

### IV.3.2 Pembagian Node

Dalam penggunaan HAZOP diperlukan pembagian “node” pada sistem yang akan dianalisa. Pembagian “node” berfungsi untuk mempermudah dalam menganalisa kemungkinan bahaya pada suatu sistem dengan lebih teliti.

**Tabel 4. 1 Pembagian Node pada P&ID**

No	Node	Deskripsi
1	<i>Discharge system</i>	Transfer LNG dari <i>storage tank</i> ke flexible hose.
2	<i>Transfer System</i>	Mengalirkan LNG dari LNG bunker vessel ke receiver ship
3	<i>Receiving System</i>	Menerima LNG dari flexible hose hingga ke tangki penyimpanan

Berikut adalah penjelasan teknis mengenai setiap node yang telah dibagi,

1. Node 1, *Discharge System*

Pada node 1, LNG yang berada pada tangki di LNG Bunker Shuttle dipompa dengan *cryogenic pump* dan dialirkan ke *flexible hose*. Pada bagian ini terdapat 2

jalur, hal ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan gagalnya komponen yang dapat menyebabkan terganggunya proses aliran LNG. Sebelum dialirkan ke *flexible hose*, LNG harus melalui insulated pipe hal ini bertujuan untuk menjaga suhu LNG agar tetap berada di  $-162^{\circ}\text{C}$  sehingga LNG tidak berubah fasenya dari cair menjadi gas.

2. Node 2, *Transfer System*

Pada node 2, *flexible hose* dihubungkan dari *manifold* LNG Bunker Shuttle ke manifold KMP. Labobar.

Komponen pada node 2 adalah:

- a. *Manual Valve*
- b. *Flexible Hose*

3. Node 3, *Receiving System*

Pada node 3, LNG yang telah dipompa dan dialirkan melalui *flexible hose* dialirkanke dalam tangki *storage* KMP. Labobar. Pada kapal KMP. Labobar memiliki pipa berjenis insulated dan *coolbox*. Hal ini berfungsi untuk menjaga fase LNG agar dalam fase cair. Komponen pada node 3 antara lain *manual valve*, *pneumatic valve*, *insulated pipe* dan *safety relief valve*.

### IV.3.3 Deviasi Sistem

Deviasi adalah kondisi dari hasil skenario kegagalan sistem yang mungkin terjadi. Beberapa deviation pada umumnya adalah *no flow*, *more pressure* dan *more temperature*.

### IV.3.4 Cause dan Consequences

Setelah menentukan deviasi pada suatu sistem maka analisa beikutnya adalah analisa penyebab kegagalan dan analisa konsekuensi yang dapat terjadi jika sistem gagal.



#### **IV.3.5 Safeguards**

*Safeguard* adalah komponen dalam sistem yang dapat membantu memastikan bahwa sistem akan berjalan sebagaimana mestinya. Contoh safeguard dalam sistem adalah *pressure indicator*, *emergency shutdown* dan *temperature indicator*.

#### **IV.3.6 Comments dan Action Required**

*Comments* merupakan tanggapan kondisi apakah dapat diterima atau tidaknya jika terdapat masalah dalam suatu sistem. Sedangkan *Action Required* adalah saran yang dapat diambil jika terjadi kegagalan pada suatu sistem dapat berupa penggantian komponen atau penambahan komponen.

Tabel 4. 2 HAZOP pada Node 1

STUDY TITLE = SHIP TO SHIP LNG TRANSFER		SHEET 1 of 3	
DRAWING NO = 01-4213100084		NODE 1	P&ID
PART CONSIDERED = DISCHARGE SYSTEM			
		1. BALL VALVE	6. PIPING
		2. PNEUMATIC VALVE	7. LEVEL INDICATOR
		3. SAFETY VALVE	8. OVERFLOW VALVE
		4. TEMPERATURE INDICATOR	9. NRV
		5. PRESSURE INDICATOR	10. PURGE TANK
DESIGN INTENT = SOURCE			ACTIVITY LNG TRANSFER
NO	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES
1	NO FLOW (LNG)	1. Valve NV-01 and NV-03 Blocked	1. No LNG Supply
		2. Valve FV-02 and FV-03 Blockage	2. M/E shutdown
		3. Valve PV-02 Blocked	
			None Shown
			Situation not Acceptable
			Install flow transmitter and flow meter after valve NV-01, FV-02, PV-02 and FV-03
2	NO FLOW (Gas Return)	1. Valve PV-03 Blocked	1. No Gas Return
		2. Valve MV-01 Blocked	2. LNG Supply Disruption
			None Shown
			Situation not Acceptable
			Install flow transmitter and flow meter after valve PV-03 and MV-01

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

3	MORE PRESSURE	One valve in discharge system blocked	Pipe or equipment leak because of over pressure and lead to 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	1. Safety Valve  2. Pressure Transmitter and Pressure Indicator	Situation not Acceptable	1. Routine check the Pressure Indicator and install gas detector
4	MORE TEMPERATURE	1. Overpressure in pipeline  2. Flow rate is too high	Pipe or equipment leak because of over pressure and lead to 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	Temperature Indicator	Situation not Acceptable	1. Routine check the Temperature Indicator and install gas detector
5	REVERSE FLOW	1. Receiver tank has met the max capacity	Potential reverse flow lead to equipment damage	Over flow Valve (Reverse LNG)	Situation Acceptable	

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

6	OTHER THAN	OTHER THAN DESTINATION	Pipeline rupture and gas leakage before reach receiver tank	Environmental Contamination 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	Pressure Indicator  Integrity of Piping	Situation not Acceptable	Specify that proposed flowrip should have a sufficiently rapid response to prevent explosion
7	OTHER THAN	OTHER THAN CORROSION	Too much water content, sour gas (H2S), and Oxygen in pipe line	Corrosion lead to gas leakage and explosion 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	N2 Inert Process  Integrity of Piping	Situation not Acceptable	Routine check the thickness of pipe, coating protection, periodically inspection
8	AS WELL AS	AS WELL AS CONTAMINATION	Another gas in LNG System  Incomplete Inerting and Purging  Valve P V-01 failed to close	if contaminant is a non flammable gas, it will decrease the quality of LNG  if contaminant is a flammable gas, it will increase the potential of explosion  decrease the rate of transfer to receiver tank	Gas Chromatograph	Situation not Acceptable	Check gas contain

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

9 LATE	LATE FIRE SUPPRESSOR	Gas detector fail to detect gas release from system	Environmental Contamination lead to explosion and gas dispersion	None Shown	Situation not Acceptable	Routine check and inspection on instrument devices
10 LESS	LESS FLOW (LNG)	LNG Pump failed to operate	Less LNG flow rate	None Shown	Situation not Acceptable	Provide spareparts of pump, periodically maintenance and inspection



# Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

3	MORE	MORE PRESSURE	1. Valve MV-05 Blocked 2. Valve P V-08 Blocked (Over Pressure)	1. Overpressure on pipe could lead to explosion 2. Pipe rupture	Pressure Indicator	Situation not Acceptable	Piping must be designed to hold overpressure
4	MORE	MORE TEMPERATURE	1. Valve MV-05 Blocked 2. Valve P V-08 Blocked (Over heat)	1. Overheat on pipe could lead to explosion 2. Pipe rupture	None Shown	Situation not Acceptable	Install Temperature Indicator
5	LATE	LATE ESD	ESD in trouble (Electrical devices in disruption)	Pipe rupture lead to gas dispersion, explosion (Jet Fire)	None Shown	Situation not Acceptable	
6	NO	NO FLOW (N2 Gas LNG Shuttle bunker) 1. Portable 2. External Connection	1. Valve MV-06 Blocked 2. Valve MV-07 Blocked 3. Valve MV-08 Blocked 4. Valve MV-09 Blocked	1. No N2 Gas flow 2. Inerting process disruption 3. Possible situation, there is flammable gas inside piping system lead to explosion	None Shown	Situation not Acceptable	Install flow meter

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

7	NO	NO FLOW (N2 Gas LNG Shuttle bunker) 1 Portable 2. External Connection	1. Valve MV-06 Blocked 2. Valve MV-07 Blocked 3. Valve MV-08 Blocked 4. Valve MV-09 Blocked	1. No N2 Gas flow 2. Inerting process disruption 3. Possible situation, there is flammable gas inside piping system lead to explosion	None Shown	Situation not Acceptable	Instal flow meter
8	NO	NO FLOW (N2 Gas LNG receiver vessel) 1 Portable 2. External Connection	1. Valve MV-10 Blocked 2. Valve MV-11 Blocked 3. Valve MV-12 Blocked 4. Valve MV-13 Blocked	1. No N2 Gas flow 2. Inerting process disruption 3. Possible situation, there is flammable gas inside piping system lead to explosion	None Shown	Situation not Acceptable	Instal flow meter



Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

9	OTHER THAN CORROSION	Too much water content, sour gas (H2S), and Oxygen in pipe line	Corrosion lead to gas leakage and explosion 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	N2 Inert Process  Integrity of Piping	Situation not Acceptable	Routine check the thickness of pipe, coating protection, periodically inspection
10	AS WELL AS AS CONTAMINATION	Another gas in LNG System	if contaminant is a non flammable gas it will decrease the quality of LNG	None Shown	Situation not Acceptable	Check gas contain
		Uncomplete Inerting and Purging	if contaminant is a flammable gas it will increase the potential of explosion			

**Tabel 4. 4 HAZOP pada Node 3**

STUDY TITLE = SHIP TO SHIP LNG TRANSFER		SHEET 1 of 3					
DRAWING NO = 01-4213100084	NODE 3		P&ID				
PART CONSIDERED = RECEIVING SYSTEM			ACTIVITY LNG TRANSFER				
1. BALL VALVE							
2. PNEUMATIC VALVE							
3. SAFETY VALVE							
4. LEVEL INDICATOR							
5. PRESSURE INDICATOR							
NO	GUIDE WORD	DEVIATION	POSSIBLE CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	COMMENTS	ACTION REQUIRED
1	NO	NO FLOW (LNG)	1. Valve P V-09 Blocked 2. Valve P V-11 Blocked 3. Valve P V-12 Blocked 4. Valve P V-15 Blocked	1. No LNG Supply 2. M/E shutdown	None Shown	Situation not Acceptable	Install flow trans mitter and flow meter after valve P V-09, P V-11P V-12 P V-15
2	NO	NO FLOW (Gas Return)	1. Valve P V-10 Blocked	1. No Gas Return 2. LNG Supply Disruption	None Shown	Situation not Acceptable	Install flow trans mitter and flow meter after valve P V-10

## Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

3	MORE PRESSURE	One valve in receiving system blocked	Pipe or equipment leak because of over pressure and lead to 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	1. Safety Valve  2. Pressure Transmitter and Pressure Indicator	Situation not Acceptable	1. Routine check the Pressure Indicator and install gas detector
4	MORE TEMPERATURE	1. Overpressure in pipe line  2. Flow rate is too high	Pipe or equipment leak because of over pressure and lead to 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	None Shown	Situation not Acceptable	1. Install Temperature Indicator and install gas detector

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

5	OTHER THAN	OTHER THAN DESTINATION	Pipeline rupture and gas leakage before reach receiver tank	Environmental Contamination 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	Pressure Indicator  Integrity of Piping	Situation not Acceptable	Specify that proposed flow trips should have a sufficiently rapid response to prevent explosion
6	OTHER THAN	OTHER THAN CORROSION	Too much water content, sour gas (H <sub>2</sub> S), and Oxygen in pipe line	Corrosion lead to gas leakage and explosion 1. Jet Fire 2. Flash Fire 3. Explosion 4. Gas Dispersion	N <sub>2</sub> Inert Process  Integrity of Piping	Situation not Acceptable	Routine check the thickness of pipe, coating protection, periodically inspection

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

7 AS WELL AS AS	AS WELL AS CONTAMINATION	Another gas in LNG System	if contaminant is a non flammable gas it will decrease the quality of LNG	None Shown	Situation not Acceptable	Install Gas chromatograph to ensure the quality of LNG
		Uncomplete Inerting and Purging	if contaminant is a flammable gas it will increase the potential of explosion			
		Valve P V-14 and P V-15 failed to close	decrease the rate of transfer to receiver tank			

#### IV.3.7 Skenario Konsekuensi

Skenario konsekuensi yang dapat terjadi pada *Ship to Ship LNG Transfer* dapat dilihat pada tabel *Compatibility Matrix* seperti dibawah ini.

**Tabel 4. 5** *Compatibility matrix* skenario yang terjadi pada fasilitas

Node	Consequency			
	Gas dispersion	BLEVE	Jet Fire	Flash Fire
1	YES	NO	YES	YES
2	YES	NO	YES	YES
3	YES	NO	YES	YES

Dalam tabel 4.5 dapat dilihat bahwa BLEVE tidak dapat terjadi dalam fasilitas ini karena setidaknya terdapat 3 syarat dalam terjadinya BLEVE 1) Terdapat 2 fasa dalam tangki LNG yaitu cair dan gas. 2) Temperatur pada tangki meningkat pada kisaran 37.8°C pada tekanan 2.76 bar (40 psia) sehingga terbentuk *vapour*. 3) Temperatur lingkungan lebih panas dari 37.8°C, baik disebabkan oleh peningkatan suhu secara natural ataupun terdapat komponen yang mengeluarkan panas yang berdekatan dengan tangki (Aliyah, 2014)

Dalam pengoperasian suhu operasi pada tangki adalah -162 °C dan tangki dapat menahan tekanan hingga 6.5 bar sehingga kemungkinan terjadinya BLEVE dapat diabaikan.

#### IV.4 Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi kegagalan dalam skripsi ini menggunakan 2 metode yaitu, *Fault Tree Analysis* dan *Even Tree Analysis*.

FTA berfungsi untuk mendapatkan initiating event pada setiap node berdasarkan nilai frekuensi kegagalan setiap

komponen pada sistem di setiap node. Nilai kegagalan komponen didapatkan dari UK HSE *Failure Rate*, DNV *Failure frequency Guidance* dan OGP-Risk *Assesment Data Directory* tentang *Storage Data Incident*.

ETA berfungsi untuk mendapatkan nilai kemungkinan setiap *initiating event* akan berubah menjadi konsekuensi.

Tabel 4.6 - 4.8 menunjukkan nilai frekuensi kegagalan komponen per tahun dengan berbagai macam ukuran kebocoran.





**Tabel 4. 7 Frekuensi Kegagalan Komponen pada Node 2 per tahun.**

No	Source	Equipment	Size	Frequency		
				3 - 10 mm	10 - 50 mm	NODE : 2 50 - 150 mm
1	MV-04					
	MV-05					
	MV-06					
	MV-07					
	MV-08					
	MV-09					
	MV-10	Manual Valve	6 inch	3.19E-05	1.52E-05	3.65E-06
	MV-11					
	MV-12					
	MV-13					
	MV-14					
	MV-15					
2	PV-08	Actuated Valve	6 inch	1.81E-04	5.50E-05	8.03E-05
3	ESD	Emergency Shut Down			2.65E-06	

**Tabel 4. 8 Frekuensi Kegagalan Komponen pada Node 2 per tahun.**

No	Source	Equipment	Size	Frequency		NODE : 3	
				3 - 10 mm	10 - 50 mm	50 - 150 mm	
1	PV-09						
	PV-10						
	PV-11						
	PV-12	Actuated Valve	6 inch	1.81E-04	5.50E-05	8.03E-05	
	PV-13						
	PV-14						
	PV-15						
2	MV-14	Manual Valve	6 inch	3.19E-05	1.52E-05	3.65E-06	

#### IV.4.1 Fault Tree Analysis (FTA)

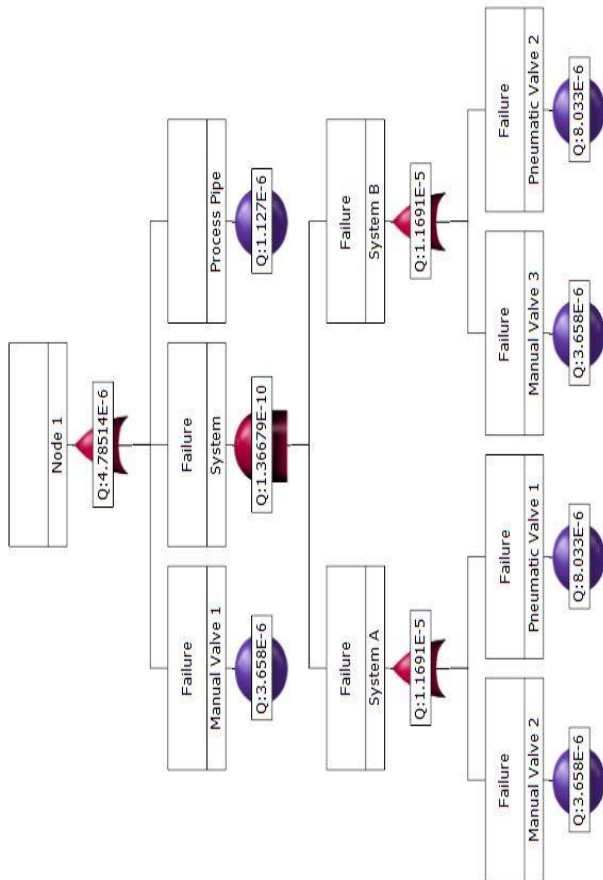
FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan “top down approach” karena analisa ini berawal dari system level (top) dan meneruskannya ke bawah (Priyanta, 2000). *Fault Tree Analysis* berfungsi sebagai metode dalam perhitungan frekuensi kegagalan dengan *top event* adalah Bocornya gas dari pipa di sistem *STS LNG transfer*. Perhitungan frekuensi dalam penelitian ini menggunakan bantuan software Relx 2009. Relx 2009 adalah perangkat lunak yang dapat mempermudah perhitungan dengan bantuan *logical gate*. Pada umumnya perhitungan FTA menggunakan 2 jenis *logical gate*, yaitu “AND” dan “OR”. *Logical gate* inilah yang akan menghubungkan *top event* hingga *basic event* sehingga nilai frekuensi kegagalan bisa didapatkan.

Peluang gagal dengan menggunakan “AND” gate memiliki arti bahwa sistem berjalan dengan skenario parallel secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

- $P(AnB) = P(A) \times P(B)$

Sedangkan “OR” gate adalah skenario sistem berjalan dengan seri secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

- $P(AUB) = P(A) + P(B) - P(AnB)$



**Gambar 4. 5 FTA pada node 1 terjadinya Gas Release hole 50-150 mm**

**Tabel 4. 9 Frekuensi terjadinya overpressure akibat kegagalan komponen pada sistem**

Node	Scenario	Location	Failure Rate		
			Small (3-10 mm)	Medium (10-50 mm)	Large (50-150 mm)
1	Gas Release	Discharge Sytem	4.87E-05	2.15E-05	4.79E-06
2	Gas Release	Transfer System	2.17E-04	7.46E-05	1.60E-05
3	Gas Release	Receiver System	1.97E-04	6.12E-05	9.16E-06

#### IV.4.2 Event Tree Analysis (ETA)

*ETA (Event Tree Analysis)* adalah suatu metode untuk menghitung frekuensi terjadinya konsekuensi yang mungkin muncul dalam *Ship to Ship LNG Transfer (Jet Fire, Flash Fire dan Gas Dispersion)*. Hasil perhitungan frekuensi kegagalan komponen yang dapat mengakibatkan *Gas Release* dapat digunakan dalam perhitungan ETA.

Untuk perhitungan ETA data *ignition probability* bisa didapatkan dari *Oil and Gas Producers (OGP)*.

##### IV.4.2.1 Perhitungan Flow Release Gas

Berdasarkan *UK HSE*, untuk menghitung *flow release gas* yang terjadi pada sebuah segmen pipa dapat menggunakan persamaan *Bernouli*.

$$m = Cd \cdot \rho \cdot A \cdot \sqrt{2 \left[ \frac{P1 - P}{\rho} + (g \cdot h) \right]}$$

Dimana :

m : massa yang terbuang (kg/s)

Cd : koefisien

0.6 untuk zat cair

0.8 untuk zat gas

$\rho$  : massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

- A : luas lubang kebocoran (m<sup>2</sup>)  
 P1 : tekanan absolut  
 P : tekanan ambient (Pa)  
 g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 h : head statis (m)

Contoh perhitungan *flow gas release* pada rentang kebocoran 3-10 mm :

$$\begin{aligned}
 m &= C_d \cdot \rho \cdot A \cdot \sqrt{2 \left[ \frac{P_1 - P}{\rho} + (g \cdot h) \right]} \\
 &= 0.8 \times 430 \times 0.0002826 \times \sqrt{2 \left[ \frac{250.000 - 100.000}{430} + (9.8 \times 7) \right]} \\
 &= 0.2005
 \end{aligned}$$

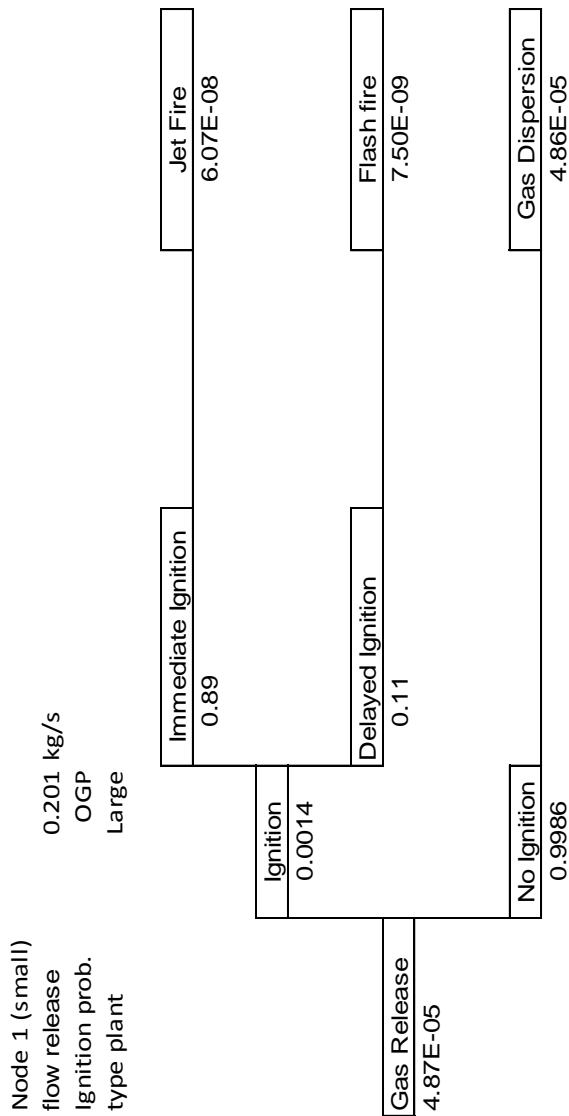
Perhitungan menggunakan formula diatas dilakukan disetiap node dan ukuran kebocoran untuk menentukan nilai ignition probability. Berikut adalah hasil dari perhitungan *Flow Gas Release*.

**Tabel 4. 10 Rekap Hasil Perhitungan Flow Gas Release**

Flow Gas Release	Node 1 (small)	Node 1 (medium)	Node 1 (Large)
Hole Area (m2)	0.00002826	0.0019625	0.00785
Flow Release (kg/s)	0.2005	13.9260	55.7040
Ignition Probability	0.0014	0.010643	0.0579
Flow Gas Release	Node 2 (small)	Node 2 (medium)	Node 2 (large)
Hole Area (m2)	0.00002826	0.0019625	0.00785
Flow Release (kg/s)	0.2044	14.1940	56.7761
Ignition Probability	0.00141	0.01075	0.0210
Flow Gas Release	Node 3 (small)	Node 3 (medium)	Node 3 (large)
Hole Area (m2)	0.00002826	0.0019625	0.00785
Flow Release (kg/s)	0.2069	14.3699	57.4798
Ignition Probability	0.001418	0.01081	0.0212

Dari tiap hasil yang didapatkan melalui perhitungan *Flow Gas Release* dijadikan acuan untuk menghitung *Ignition Probability*. *Ignition Probability* dari setiap ledakan akan dihitung dengan menggunakan metode *Event Tree Analysis*.

**Gambar 4. 6** Perhitungan Ignition Probability pada Node 1 (3-10 mm)





**Tabel 4. 11 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 1**

Potential Hazard	Frequency		
	Small (3-10 mm)	Medium (10-50 mm)	Large (50-150 mm)
Jet Fire	6.07E-08	2.03E-07	2.47E-07
Flash Fire	7.50E-09	2.51E-08	3.05E-08
Gas Dispersion	4.86E-05	2.12E-05	4.51E-06

**Tabel 4. 12 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 2**

Potential Hazard	Frequency		
	Small (3-10 mm)	Medium (10-50 mm)	Large (50-150 mm)
Jet Fire	2.72E-07	7.14E-07	2.99E-07
Flash Fire	3.36E-08	8.82E-08	3.70E-08
Gas Dispersion	2.16E-04	7.38E-05	1.57E-05

**Tabel 4. 13 Hasil Rekap Perhitungan Ignition Probability pada Node 3**

Potential Hazard	Frequency		
	Small (3-10 mm)	Medium (10-50 mm)	Large (50-150 mm)
Jet Fire	2.49E-07	1.69E-07	1.69E-07
Flash Fire	3.08E-08	7.28E-08	2.13E-08
Gas Dispersion	1.97E-04	6.05E-05	8.97E-06

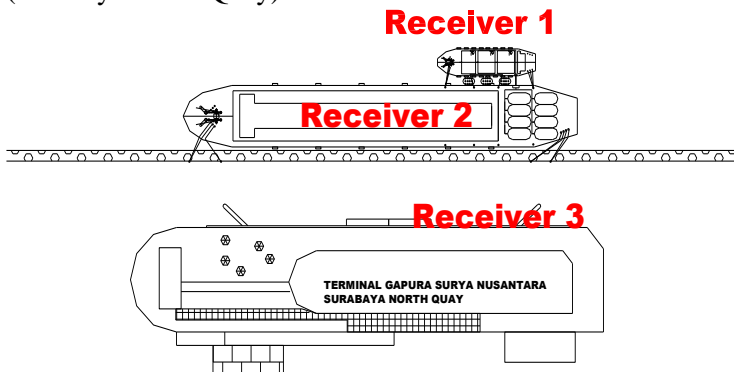
#### IV.5 Analisa Konsekuensi

Setelah melakukan perhitungan frekuensi pada setiap komponen serta mendapatkan nilai dari *ignition probability* pada setiap *node* maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulai ledakan atau *fire modeling*. Pada proses fire modeling diperlukan beberapa data yaitu Layout Terminal Penumpang dan posisi kapal pada saat melakukan *Ship to Ship LNG Transfer*. Tahap kedua adalah menentukan jumlah dan keberadaan manusia di area Terminal Surabaya North Quay. Berikut adalah Layout Pelabuhan Surabaya North Quay, Surabaya.

##### IV.5.1 Penentuan letak receiver

Dalam fasilitas ini terdapat 3 lokasi receiver utama yaitu kru kapal LNG Bunker Shuttle, kru Kapal KMP. Labobar dan Penumpang pada terminal Surabaya North Quay.

Pada penelitian ini, Jumlah penumpang pada terminal penumpang Surabaya North Quay digunakan adalah jumlah maksimal dari kapasitas Terminal Gapura Surya Nusantara (Surabaya North Quay).



**Gambar 4. 7 Letak Receiver STS LNG Transfer**

**Gambar 4. 8 Jet Fire Large Bore (50-150 mm)**

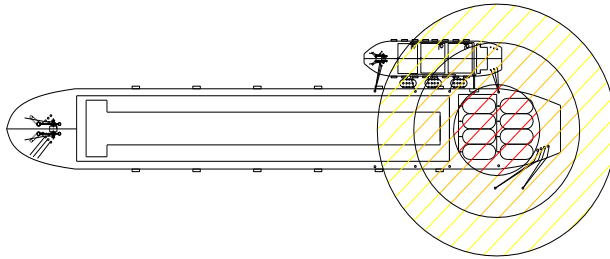
Dari *Fire Modelling* dapat dilihat terdapat perbedaan radiasi panas pada tiap daerah. *Jet Fire* pada Skenario ini berlangsung selama 60 detik.

Terdapat 3 pembagian Zona Radiasi atau disebut *Level Of Concern* pada *software* ALOHA. Warna Kuning menunjukkan radiasi panas sebesar  $2\text{-}5 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius jarak sebesar 71 meter dengan potensi luka bakar tingkat 1 dengan durasi waktu 60 detik. Warna Oranye menunjukkan radiasi panas sebesar  $5\text{-}10 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius jarak sebesar 36 meter dengan potensi luka bakar tingkat 2. Warna Merah menunjukkan radiasi panas  $> 10 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius 26 meter dengan potensi luka bakar tingkat 3 dengan risiko kematian.

Selanjutnya fire modeling dilakukan pada setiap node dengan rentang kebocoran yang berbeda. Hasil variasi fire modeling dengan rentang kebocoran yang berbeda dapat dilihat pada lampiran.

#### **IV.5.2.2 Analisa konsekuensi akibat *jet fire* di Laut**

Analisa *Jet Fire* di laut menggunakan cara yang sama dengan analisa di dermaga. Analisa dilakukan dengan 3 variasi ukuran kebocoran yaitu antara lain *Large* (50-150 mm), *Medium* (10-50 mm) dan *Small* (3-10 mm). Ukuran rentang kebocoran didasarkan pada standard *DNV Failure Frequence*. Pada tiap rentang kebocoran akan menghasilkan luasan radiasi panas yang berbeda.



**Gambar 4. 9 Jet Fire Large Bore (50-150 mm)**

Dari *Fire Modelling Jet Fire* di Laut dapat dilihat terdapat perbedaan radiasi panas pada tiap daerah. *Jet Fire* pada Skenario ini berlangsung selama 60 detik.

Terdapat 3 pembagian Zona Radiasi atau disebut *Level Of Concern* pada *software ALOHA*. Warna Kuning menunjukkan radiasi panas sebesar  $2-5 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius jarak sebesar 71 meter dengan potensi luka bakar tingkat 1 dengan durasi waktu 60 detik. Warna Oranye menunjukkan radiasi panas sebesar  $5-10 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius jarak sebesar 36 meter dengan potensi luka bakar tingkat 2. Warna Merah menunjukkan radiasi panas  $> 10 \text{ kW/ m}^2$  dengan radius 26 meter dengan potensi luka bakar tingkat 3 dengan risiko kematian.

**Tabel 4. 14 Rekapitulasi Fire Modelling Jet Fire di Dermaga pada rentang kebocoran Large (50-150 mm)**

Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)			Heat Flux (kW/m2)	Fatality (N)	
			First	Second	Third			Tolerable
LNG Bunker Shuttle								
NODE 1	Ship Operator	3	-	-	3/26m/60s	-	>10	3
	Crew	2	-	-	2/36m/60s	-	>10	2
			TOTAL					5
LNG Passenger Ship Crew								
NODE 2	Ship Operator	15	-	-	-	15/~/~	<2	0
	Team Crew 1	5	-	-	5/26m/60s	-	>10	5
	Team Crew 2	5	-	-	2/26m/60s	3/~/~	>10	2
	Team Crew 3	5	-	-	-	5/~/~	<2	0
	Team Crew 4	5	-	-	-	5/~/~	<2	0
			TOTAL					7

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

NODE 3    Passenger Terminal Surabaya North Quay									
Hall Kedatangan	860	-	-	-	-	860/~	<2	0	
Hall Keberangkatan	860	-	-	-	-	860/~	<2	0	
Loby Kedatangan	1000	-	-	-	-	1000/~	<2	0	
Loby Keberangkatan	1000	-	-	-	-	1000/~	<2	0	
Transit Lounge	80	-	-	-	-	80/~	<2	0	
Kantor Beacukai	10	-	-	-	-	10/~	<2	0	
Area Bongkar Muat	15	-	-	-	-	15/~	<2	0	
Service	4	-	-	-	-	4/~	<2	0	
Ruang Karantina	-	-	-	-	-	-		0	
Ruang Kesehatan	-	-	-	-	-	-		0	
Kantor Imigrasi	5	-	-	-	-	5/~	<2	0	
Executive Lounge	35	-	-	-	-	35/~	<2	0	
UGD	-	-	-	-	-	-		0	
Smoking Area	20	-	-	-	-	20/~	<2	0	





Tabel 4. 15 Rekapitulasi Fire Modelling Jet Fire di laut pada rentang kebocoran Large (50-150 mm)

Jet fire skenario hole Large								
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)			Heat Flux (kW/m2)	Fatality (N)	
			First	Second	Third			Tolerable
LNG Bunker Shuttle								
NODE 1	Ship Operator	3	-	-	3/26m/60s	-	>10	3
	Crew	2	-	-	2/36m/60s	-	>10	2
	TOTAL							5
G Passenger Ship Crew								
NODE 2	Ship Operator	15	-	-	-	15/-/~	< 2	0
	Team Crew 1	5	-	-	5/26m/60s	-	>10	5
	Team Crew 2	5	-	-	2/26m/60s	3/-/~	>10	2
	Team Crew 3	5	-	-	-	5/-/~	< 2	0
	Team Crew 4	5	-	-	-	5/-/~	< 2	0
TOTAL							7	

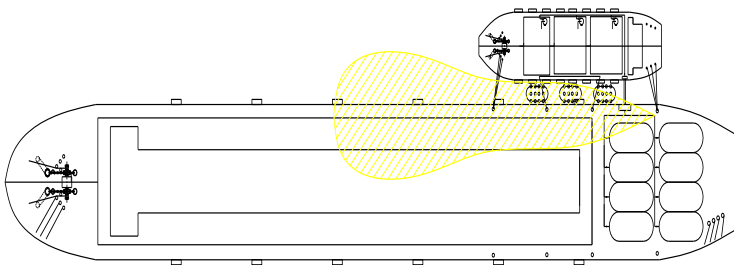


Fire Modelling bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak receiver yang terdampak ketika *flash fire* terjadi. *Level of Concern* pada *Flash Fire* didasarkan pada tekanan yang terjadi pada suatu fasilitas. *Blast Force* sebesar dengan tekanan  $> 8$  psi memiliki potensi untuk menghancurkan bangunan. Pada penelitian ini *STS LNG Transfer* tidak mencapai level tersebut. Untuk *Blast force* dengan tekanan 3.5-8 psi yang berpotensi menyebabkan luka serius juga tidak terjadi pada skenario ini. *Blast force* dengan tekanan sebesar 1.5-3.5 psi yang dapat menyebabkan kaca pecah terjadi pada simulasi ini dengan radius 72 meter.

Setelah itu *fire modeling* dilakukan pada semua rentang kebocoran dan hasil simulasi dapat dilihat pada lampiran.

#### IV.5.2.4 Analisa konsekuensi akibat *flash fire* di Laut

Analisa *Flash Fire* di laut menggunakan cara yang sama dengan analisa di dermaga. Data Angin menggunakan data Badan Statistika Kota Surabaya 2015, mengenai arah angin terbanyak dan kecepatan angin maksimal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.



**Gambar 4. 11 Flash Fire Large Bore di Laut - Barat**

Fire Modelling bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak receiver yang terdampak ketika *flash fire* terjadi. *Level of Concern* pada *Flash Fire* didasarkan pada tekanan yang terjadi pada suatu fasilitas. *Blast Force* sebesar dengan tekanan  $> 8$  psi memiliki potensi untuk menghancurkan bangunan. Pada penelitian ini *STS LNG Transfer* tidak mencapai level tersebut. Untuk Blast force dengan tekanan 3.5-8 psi yang berpotensi menyebabkan luka serius juga tidak terjadi pada skenario ini. *Blast force* dengan tekanan sebesar 1.5-3.5 psi yang dapat menyebabkan kaca pecah terjadi pada simulasi ini dengan radius 72 meter.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Fire Modelling Flash Fire pada rentang kebocoran Large di Dermaga - Barat (50-150 mm)

Flash Fire skenario hole Large							
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Effect (jumlah orang tertampak/langkauan/Waktu)		Pressure (psi)	Fatality (N)	
			Shatters glass	Serious injury likely			Destruction building
LNG Bunker Shuttle							
NODE 1	Ship Operator	3	-	-	-	3/4~ 1.0 - 3.5	0
	Crew	2	-	-	-	2/4~ 1.0 - 3.5	0
TOTAL							0
LNG Passenger Ship Crew							
NODE 2	Ship Operator	15	-	-	-	15/4~ <1.0	0
	Team Crew 1	5	3/72m/60s	-	-	2/4~ 1.0 - 3.5	2
	Team Crew 2	5	-	-	-	5/4~ <1.0	0
	Team Crew 3	5	-	-	-	5/4~ <1.0	0
	Team Crew 4	5	-	-	-	5/4~ <1.0	0
TOTAL							2

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

NODE 3	Passenger Terminal Surabaya North Quay									
	Hall Kedatangan	860	-	-	-	-	860/~	<1.0	0	
	Hall Keberangkatan	860	-	-	-	-	860/~	<1.0	0	
	Loby Kedatangan	1000	-	-	-	-	1000/~	<1.0	0	
	Loby Keberangkatan	1000	-	-	-	-	1000/~	<1.0	0	
	Transit Lounge	80	-	-	-	-	80/~	<1.0	0	
	Kantor Beacukai	10	-	-	-	-	10/~	<1.0	0	
	Area Bongkar Muat	15	-	-	-	-	15/~	<1.0	0	
	Service	4	-	-	-	-	4/~	<1.0	0	
	Ruang Karantina	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Ruang Kesehatan	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Kantor Imigrasi	5	-	-	-	-	5/~	<1.0	0	
	Executive Lounge	35	-	-	-	-	35/~	<1.0	0	
	UGD	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Smoking Area	20	-	-	-	-	20/~	<1.0	0	







#### IV.5.2.5 Analisa konsekuensi akibat gas dispersion

Pada *Ship to Ship LNG Transfer* Kasus *Gas Dispersion* sangat mungkin terjadi. *Gas Methane* yang *release* ke udara bebas dengan tingkat ppm yang tinggi dapat menyebabkan masalah pernafasan manusia bahkan kematian akibat berkurangnya kadar Oksigen. Dengan terjadinya Kebocoran Gas, maka kandungan oksigen pada udara akan berkurang dan akan mengakibatkan kesulitan dalam bernafas, kerusakan sistem saraf pusat dan kematian. Tabel dibawah menjelaskan kandungan gas di udara bebas dengan konsekuensinya.

**Tabel 4. 18 Kadar Gas Methane dan Konsekuensinya**

Kadar %	ppm	Efek Terhadap Manusia
<5	50.000	Tidak beracun
14	140.000	Gas methane memiliki kemampuan mengurangi kadar oksigen di atmosfer
30	300.000	Depresi sistem saraf pusat

Simulasi *Gas Dispersion* dilakukan pada setiap node di fasilitas *STS LNG Transfer*. *Gas Dispersion* pada simulasi hanya berlangsung selama 60 detik hingga gas dalam pipa habis. Warna Biru menunjukkan bahwa kandungan gas methane yang keluar dari pipa dengan kandungan gas 65.000 ppm dengan radius jarak 75 meter. Hal ini menunjukkan bahwa gas metana yang terilis memiliki kemampuan untuk mengurangi kadar oksigen di atmosfer akan tetapi tidak mengakibatkan kematian. Berikut adalah tabel rekapitulasi *gas dispersion* dengan kebocoran Large (50-150 mm) pada setiap lokasi. Setelah itu fire modeling untuk *Gas Dispersion* dilakukan pada semua rentang kebocoran dan hasil simulasi dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 4. 19 Rekapitulasi Fire Modelling Gas Dispersion pada rentang kebocoran Large–Barat (50-150mm)**

Gas Dispersion skenario hole Large							
Node / Segmen	Receiver	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)			PPM	Fatality (N)
			PAC-1	PAC-2	PAC-3		
LNG Bunker Shuttle							
NODE 1	Ship Operator	3	-	-	-	65000	0
	Crew	2	-	-	-	65000	0
	TOTAL						0
LNG Passenger Ship Crew							
NODE 2	Ship Operator	15	-	-	-	65000	0
	Team Crew 1	5	-	-	-	65000	0
	Team Crew 2	5	-	-	-	65000	0
	Team Crew 3	5	-	-	-	65000	0
	Team Crew 4	5	-	-	-	65000	0
	TOTAL						0

Lanjutan dari Halaman Sebelumnya

NODE 3	Passenger Terminal Surabaya North Quay									
Hall Kedatangan	860	-	-	-	860/-~	65000	0			
Hall Keberangkatan	860	-	-	-	860/-~	65000	0			
Loby Kedatangan	1000	-	-	-	1000/-~	65000	0			
Loby Keberangkatan	1000	-	-	-	1000/-~	65000	0			
Transit Lounge	80	-	-	-	80/-~	65000	0			
Kantor Beacukai	10	-	-	-	10/-~	65000	0			
Area Bongkar Muat	15	-	-	-	15/-~	65000	0			
Service	4	-	-	-	4/-~	65000	0			
Ruang Karantina	-	-	-	-	-	65000	0			
Ruang Kesehatan	-	-	-	-	-	65000	0			
Kantor Imigrasi	5	-	-	-	5/-~	65000	0			
Executive Lounge	35	-	-	-	35/-~	65000	0			
UGD	-	-	-	-	-	65000	0			
Smoking Area	20	-	-	-	20/-~	65000	0			



## IV.6 Representasi Risiko

Dalam mmenentukan apakah suatu risiko dapat diterima atau tidak, maka diperlukan acuan dalam menentukan keputusan. Sehingga dalam penelitian ini, standard yang digunakan dalam representasi risiko adalah *F-N Curve* dan *Fuzzy Inference System*. Setelah mendapatkan nilai frekuensi dan konsekuensi, nilai tersebut akan diplotkan ke dalam *F-N Curve* dan *Fuzzy Inference System* untuk mengetahui tingkat dari suatu risiko dikatakan diterima atau tidak diterima. *F-N Curve* yang digunakan adalah *Hongkong Government Risk Guidelines* (HKGR) dan metode yang digunakan dalam FIS adalah Mamdani. Risiko dapat diterima jika berada pada zona *Acceptable* atau sekurang-kurangnya berada pada zona *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP).

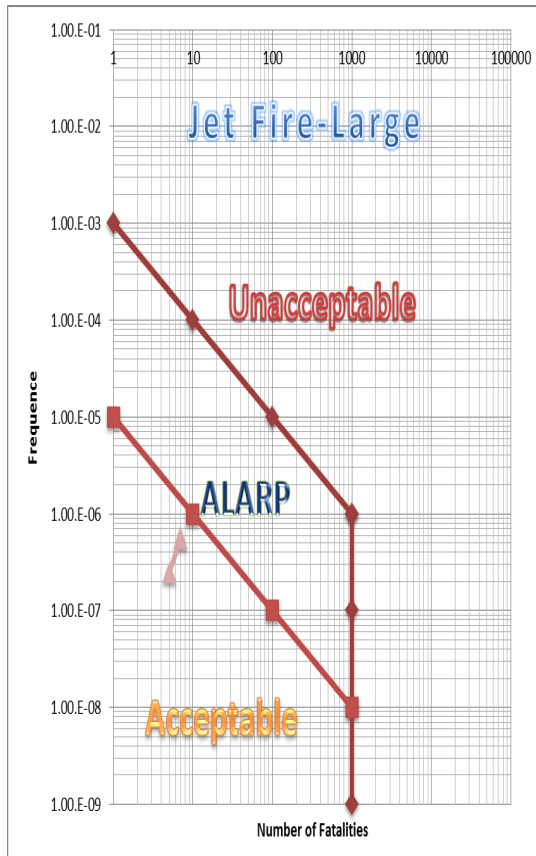
### IV.6.1 Representasi Risiko *jet fire* di Dermaga

Berikut adalah hasil data perhitungan Frekuensi dan Konsekuensi pada skenario ledakan *Jet Fire* untuk masing-masing *node*.

**Tabel 4. 20 Hasil Rekap Jet Fire untuk rentang kebocoran Large di Dermaga - Barat (50-150 mm)**

Skenario Jet Fire Large Large				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	2.47E-07	2.47E-07
2	Transfer System	7	2.99E-07	5.46E-07
3	Receiver System	0	1.69E-07	7.15E-07

Setelah mendapatkan nilai *fatalities* dari hasil analisa konsekuensi menggunakan ALOHA dan nilai frekuensi kumulatif, data tersebut dimasukkan ke *F-N Curve*. Hasil dari nilai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 12 Representasi Risiko Jet Fire Large (50-150 mm)**

Dapat dilihat bahwa risiko pada *Jet Fire* untuk rentang kebocoran Large (50-150 mm) risiko berada pada zona *Acceptable* sehingga tidak perlu dilakukan langkah mitigasi. Untuk hasil *F-N Curve* pada rentang kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran.

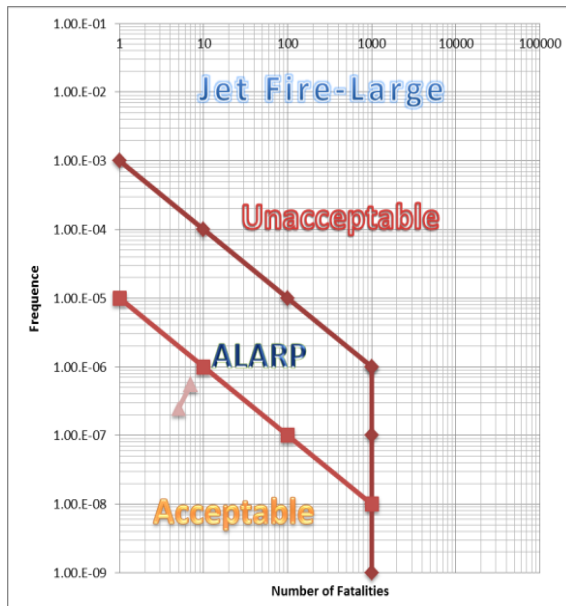
#### IV.6.2 Representasi Risiko *jet fire* di Laut

Berikut adalah hasil data perhitungan Frekuensi dan Konsekuensi pada skenario ledakan *Jet Fire* untuk masing-masing node.

**Tabel 4. 21 Hasil Rekap Jet Fire di Laut untuk rentang kebocoran Large di Dermaga - Barat (50-150 mm)**

Skenario Jet Fire Large Large

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	2.47E-07	2.47E-07
2	Transfer System	7	2.99E-07	5.46E-07
3	Receiver System	0	1.69E-07	7.15E-07



**Gambar 4. 13 Representasi Risiko Flash Fire di Laut Large (50-150 mm)**

Dapat dilihat bahwa risiko pada *Jet Fire* di Laut untuk rentang kebocoran Large (50-150 mm) risiko berada pada zona Acceptable sehingga tidak perlu dilakukan langkah mitigasi. Untuk hasil F-N Curve pada rentang kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran.

#### IV.6.3 Representasi Risiko *flash fire* di dermaga

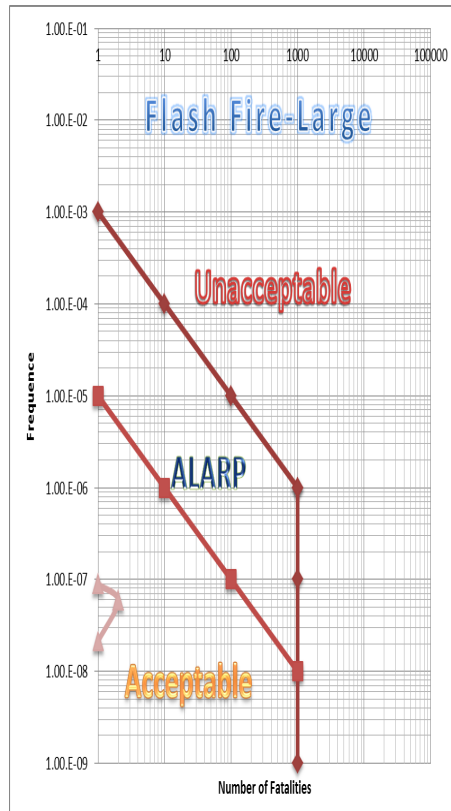
Berikut adalah hasil data perhitungan Frekuensi dan Konsekuensi pada skenario ledakan *Flash Fire* untuk masing-masing *node*.

**Tabel 4. 22 Hasil Rekap Flash Fire di dermaga untuk rentang kebocoran Large - Barat (50-150 mm)**

Skenario Flash Fire Large - Arah Barat				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	2	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08

Langkah yang sama dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko pada *Flash Fire*. Setelah mendapatkan nilai *fatalities* dari hasil analisa konsekuensi menggunakan ALOHA dan nilai frekuensi kumulatif, data tersebut dimasukkan ke *F-N Curve*. Hasil dari nilai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





**Gambar 4. 14 Representasi Risiko Flash Fire Large (50-150 mm)**

Dapat dilihat bahwa risiko pada *Flash Fire* untuk rentang kebocoran Large (50-150 mm) risiko berada pada zona *Acceptable* sehingga tidak perlu dilakukan langkah mitigasi. Untuk hasil F-N Curve pada rentang kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran.

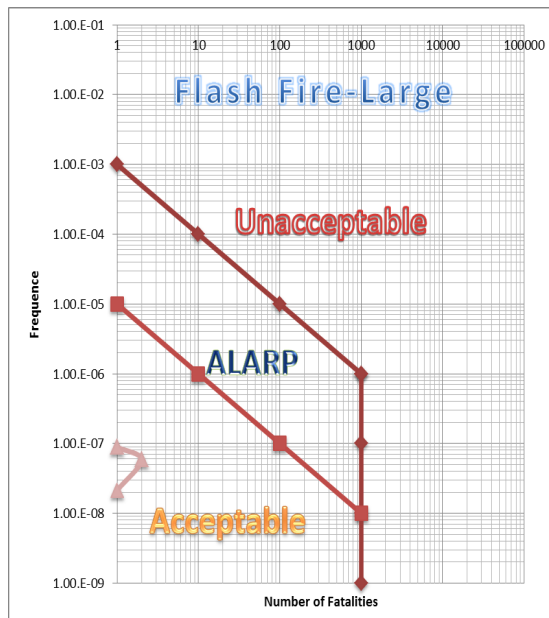
#### IV.6.4 Representasi Risiko *flash fire* di laut

Berikut adalah hasil data perhitungan Frekuensi dan Konsekuensi pada skenario ledakan *Flash Fire* untuk masing-masing *node*.

**Tabel 4. 23 Hasil Rekap Flash Fire di laut untuk rentang kebocoran Large - Barat (50-150 mm)**

Skenario Flash Fire Large - Arah Barat

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	2	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08



**Gambar 4. 15 Representasi Risiko Flash Fire Large (50-150 mm)**

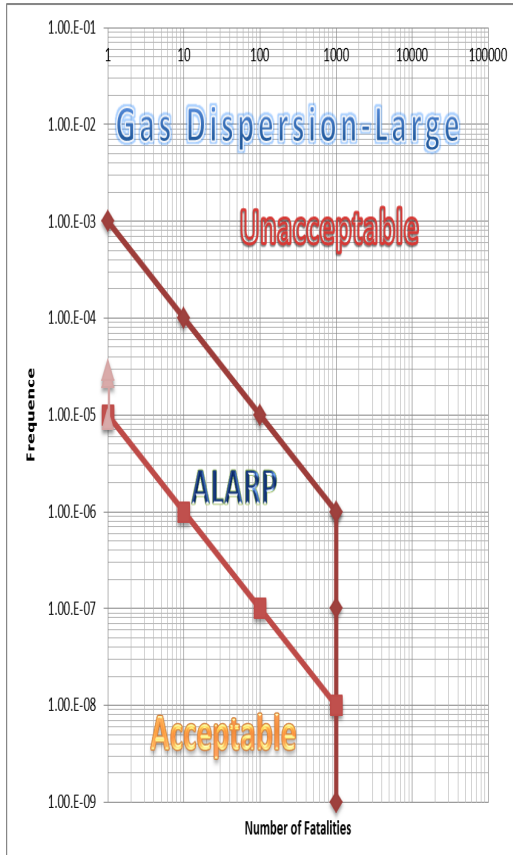
#### IV.6.5 Representasi Risiko *gas dispersion*

Berikut adalah hasil data perhitungan Frekuensi dan Konsekuensi pada skenario *Gas Dispersion* untuk masing-masing *node*.

**Tabel 4. 24 Hasil Rekap Flash Fire untuk rentang kebocoran Large-Barat (50-150 mm)**

Skenario Gas Dispersion Large				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	4.51E-06	4.51E-06
2	Transfer System	0	1.57E-05	2.02E-05
3	Receiver System	0	8.97E-06	2.91E-05

Langkah yang sama dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko pada *Gas Dispersion*. Setelah mendapatkan nilai *fatalities* dari hasil analisa konsekuensi menggunakan ALOHA dan nilai frekuensi kumulatif, data tersebut dimasukkan ke *F-N Curve*. Hasil dari nilai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 16 Representasi Risiko Gas Dispersion Large (50-150 mm)**

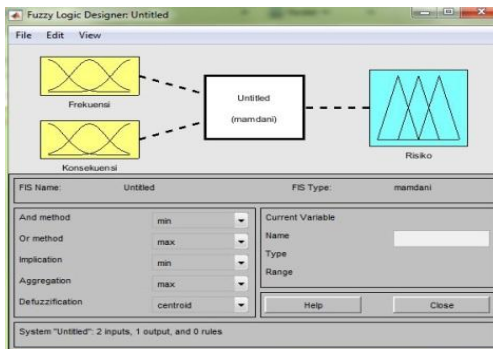
Dapat dilihat bahwa risiko pada *Gas Dispersion* untuk rentang kebocoran Large (50-150 mm) risiko berada pada zona ALARP sehingga tidak perlu dilakukan langkah mitigasi. Pada *F-N Curve* dapat dilihat pula bahwa tidak ada korban ketika Gas Dispersioin terjadi pada fasilitas *Ship to ship LNG Transfer*. Hal ini dikarenakan kadar gas metana

yang rilis dari dalam pipa tidak menyebabkan kematian pada manusia diksekitar fasilitas tersebut. Untuk hasil *F-N Curve* pada rentang kebocoran lainnya dapat dilihat pada lampiran.

#### IV.6.6 Representasi Risiko *Jet Fire* FIS-Mamdani

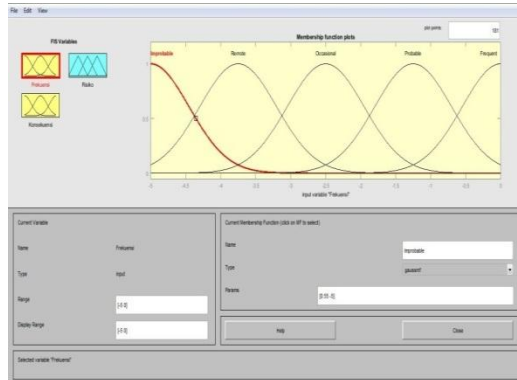
Setelah mendapatkan tingkat risiko *Jet Fire* dengan menggunakan *F-N Curve*, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan input tersebut kedalam MATLAB dengan menggunakan bahasa *fuzzy*. Berikut adalah proses memasukkan input kedalam MATLAB :

1. Memasukkan 2 Input yaitu Frekuensi dan Konsekuensi dalam MATLAB, dengan pilihan metode Mamdani.



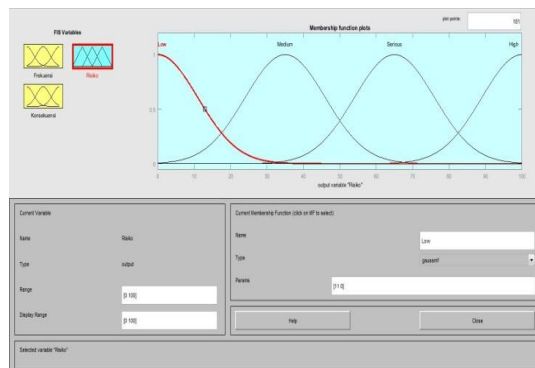
**Gambar 4. 17 Input Frekuensi dan Konsekuensi dalam Matlab**

2. Pada bagian Frekuensi, Masukkan Membership Function berdasarkan standard MIL-STD-882 dengan 5 tingkat frekuensi berbeda yaitu *Frequent*, *Probable*, *Occasional*, *Remote* dan *Improbable* dengan grafik type *Gaussian*.



**Gambar 4. 18 Membership Function Frekuensi**

3. Setelah memasukkan input Frekuensi, tahap selanjutnya adalah memasukkan input *Membership Function* konsekuensi. Terdapat 4 tingkat konsekuensi sesuai standard MIL-STD-882 yaitu *Low*, *Medium*, *Serious* dan *High*.



**Gambar 4. 19 Membership Function Konsekuensi**

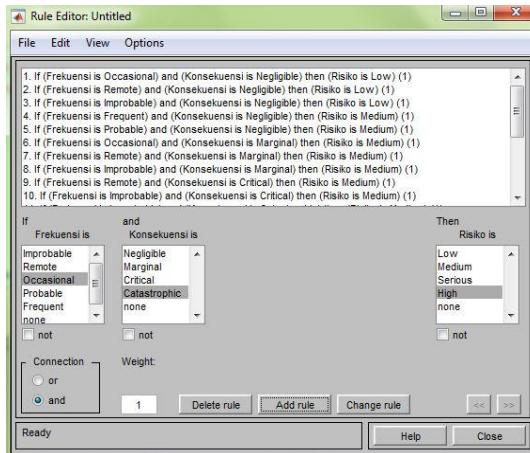
4. Setelah mengatur input dari frekuensi dan konsekuensi, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan *rules*. *Rules* yang digunakan berupa *Risk Matrix* yang diambil dari *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 1, January 2013*.

Consequence (Severity) Probability (Likelihood)		Catastrophic I	Critical II	Marginal III	Negligible IV
Frequent	A	HIGH	HIGH	SERIOUS	MEDIUM
Probable	B	HIGH	HIGH	SERIOUS	MEDIUM
Occasional	C	HIGH	SERIOUS	MEDIUM	LOW
Remote	D	SERIOUS	MEDIUM	MEDIUM	LOW
Improbable	E	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW

**Gambar 4. 20 Risk Matrix – Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix.**

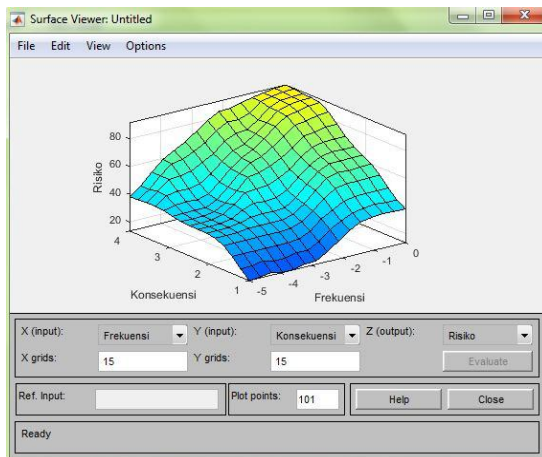
(Sumber : Abdul, 2013)

*Risk Matrix* tersebut di terjemahkan dalam bahasa fuzzy menggunakan hubungan *If* dan *Or*. Proses menterjemahkan *Risk Matrix* ke dalam bahasa *Fuzzy* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 21 Rules – FIS Mamdani**

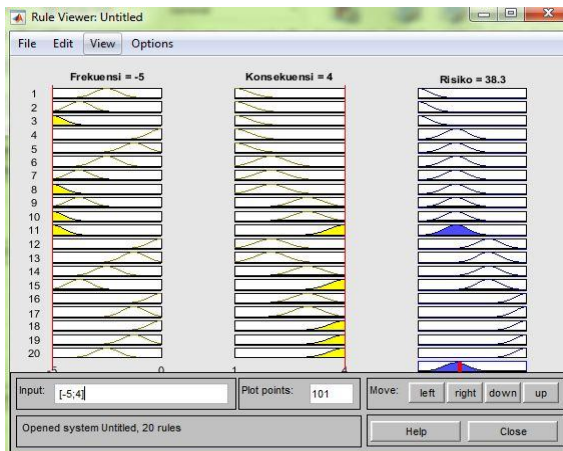
5. Representasi *Surface Area* 3D dengan menggunakan MATLAB dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 22 Surface 3D Konsekuensi, Frekuensi dan Risiko**



Setelah mengatur input frekuensi dan konsekuensi berdasarkan standard dan *rules*, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai dari frekuensi dan konsekuensi yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya kedalam MATLAB. Tingkat Risiko untuk Skenario *Jet Fire* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

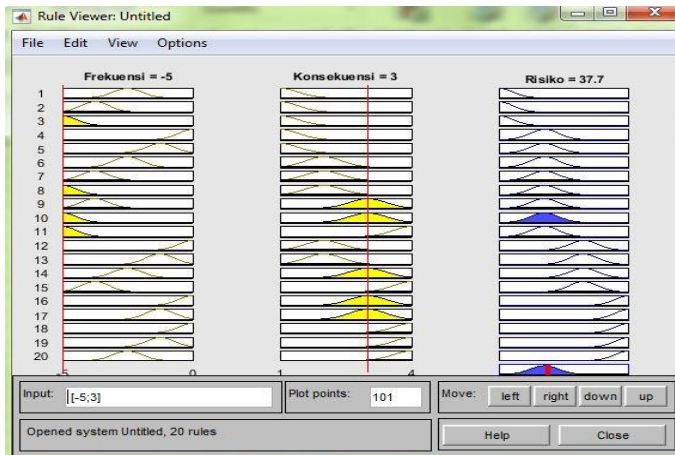


**Gambar 4. 23 Tingkat Risiko pada Skema Jet Fire Large (50-150 mm)**

Hasil dari tingkat risiko dapat dilihat, bahwa skenario *jet fire* large berada pada angka 38.3 dan berada pada tingkat *Medium*.

#### IV.6.7 Representasi Risiko *Flash Fire* FIS-Mamdani

Dengan melakukan hal yang sama, tingkat risiko *flash fire* large didapatkan dengan memasukkan input frekuensi *flash fire* dan konsekuensi dari perhitungan sebelumnya. Hasil dari tingkat risiko dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

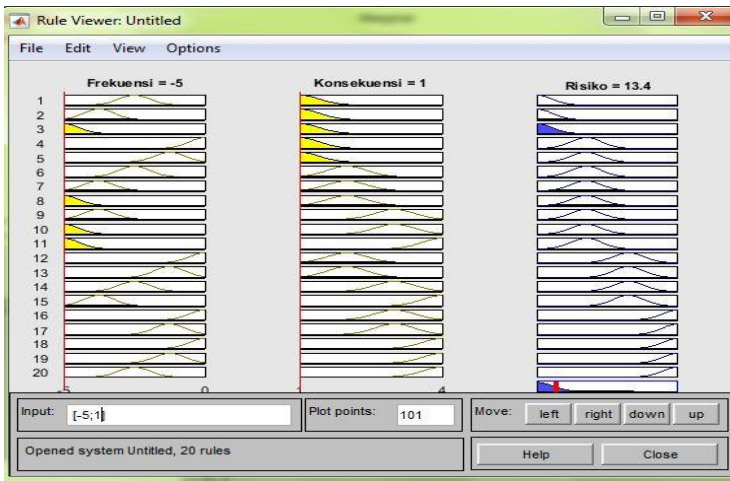


**Gambar 4. 24 Tingkat Risiko pada Skema Flash Fire Large (50-150 mm)**

Risiko *Flash Fire* large berada pada tingkat *Medium* dengan angka 37,7.

#### **IV.6.8 Representasi Risiko *Gas Dispersion* FIS-Mamdani**

Dengan melakukan hal yang sama, tingkat risiko *Gas Dispersion* large didapatkan dengan memasukkan input frekuensi *Gas Dispersion* dan konsekuensi dari perhitungan sebelumnya. Hasil dari tingkat risiko dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 25** Tingkat Risiko pada Skema Gas Dispersion Large (50-150 mm)

Risiko *Gas Dispersion* large berada pada tingkat *Low* dengan angka 13,4.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan untuk *Ship to Ship LNG Transfer* adalah sebagai berikut:

1. Pada tahap pertama, yaitu identifikasi bahaya didapatkan beberapa bahaya yang dapat terjadi antara lain *Gas Dispersion*, *Jet Fire* dan *Flash Fire*.
2. Bahaya yang terjadi diakibatkan oleh beberapa aspek yaitu meningkatnya temperatur dan tekanan diikuti oleh adanya *ignition* sehingga menyebabkan ledakan.
3. Pada proses simulasi, data angin didasarkan pada data Badan Statistik Surabaya.
4. Tingkat Risiko untuk *Gas Dispersion*, *Flash Fire* dan *Jet Fire* pada penelitian ini berada pada zona *Acceptable* sehingga tidak perlu melakukan langkah mitigasi.
5. Dalam *Consequence Analysis* arah angin cukup mempengaruhi sehingga variasi mata angin dilakukan untuk mengetahui tingkat dari risiko, namun dalam penelitian ini hanya simulasi *Flash Fire* saja yang dilakukan variasi mata angin karena tingkat dari kandungan Gas Dispersion yang terjadi pada fasilitas ini tidak mengakibatkan *fatalities*.
6. Dari hasil *Fuzzy Inference System-Mamdani* didapatkan beberapa tingkat risiko. *Gas Dispersion* dengan tingkat risiko *Low*, *Flash Fire* dan *Jet Fire* dengan tingkat risiko *Medium*.

### V.1 Saran

Setelah melakukan penelitian *Ship to Ship LNG Transfer* pada kapal penumpang maka terdapat beberapa saran, yaitu :

1. Pada saat melakukan *Hazard Operabilities* untuk mengidentifikasi bahaya dapat menggunakan *P&ID* terbaru untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan maksimal.
2. Pada saat melakukan fire modeling, dapat dilakukan komparasi antara *ALOHA* dengan software lain seperti *DNV PHAST* dan *Shell Fred* untuk mendapatkan hasil yang lebih detail dan akurat.

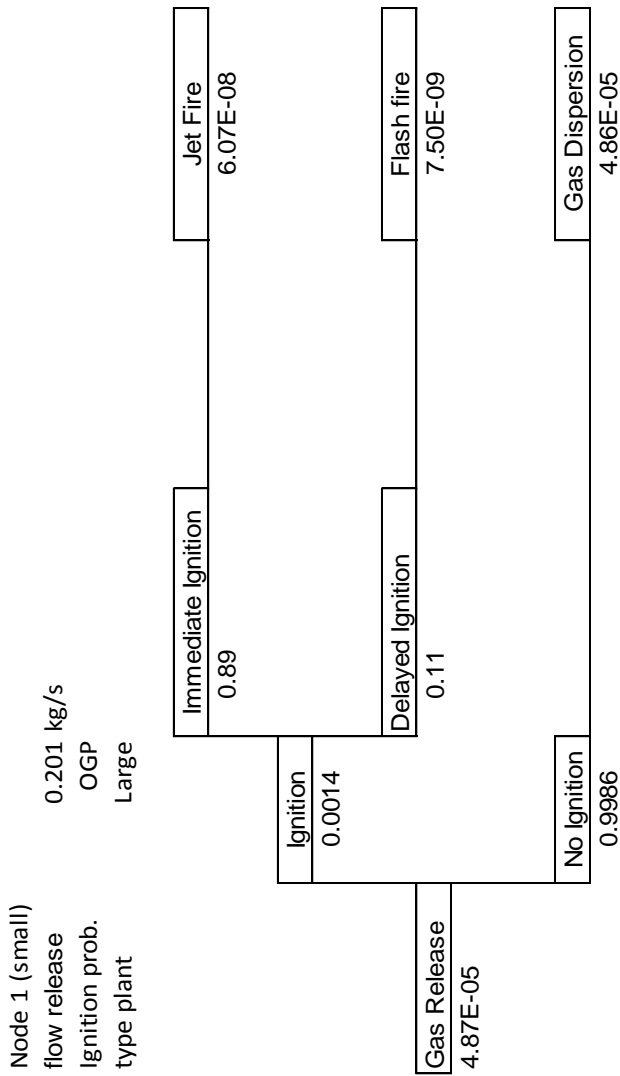
## DAFTAR PUSTAKA

- Ketut Buda Artana, *Transportasi LNG Indonesia*.2015
- A.A. BGS. Dinariyana Dwi Putranta, Agoes Achmad Masroeri, *Penilaian Risiko Pipa dan Kabel Bawah Laut Akibat Penggunaan Mooring Vessel pada Proses Pemasangan Tie-in Spool*.2015
- Ketut Buda Artana, *Estimasi Frekuensi Tubrukan Kapal Selama Proses Pembongkarang Pipa Bawah Laut Pada Crossing II Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)*.2016
- Ketut Buda Artana, A.A. BGS. Dinariyana Dwi Putranta, I Made Ariana, Kriyo Sambodho, *Penilaian risiko pipa gas bawah laut*.2015
- Ketut Buda Artana, A.A. BGS. Dinariyana Dwi Putranta, *Teori keandalan sistem dan aplikasinya*.2015
- Abdul-Haggag, Osama Y. “Aplication of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix.” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3, no. 1 (January 2008).
- Aliyah, Yolanda Fijanatin. *Analisis Risiko Sosial pada Terminal Penerima LNG Pesanggaran dengan Merode Fire and Explosion Modelling. Studi Kasus : TERminal Penerima LNG Pesanggaran*. 2014.
- ALOHA. *ALOHA User's Manual*. Washington D.C: U.S Enviromental Protection Agency, 2007.
- Danaher, Bill. “Using Fault Tree Analysis and Event Tree Analysis to Manage Risk.” *Health and*

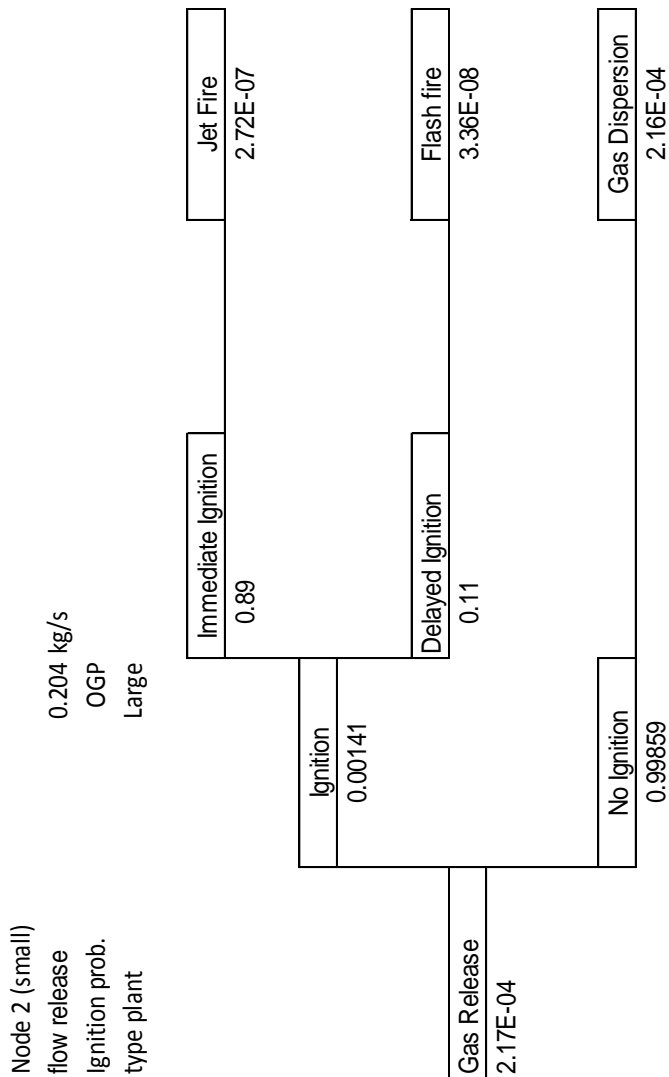
- Safety Conference*. Queensland: Queensland Mining Industry, t.thn.
- Defense, Department of. "Standard Practice for System Safety." *MIL-STD-882D*, January 1993.
- Fauzi, Fachurrachman Rizki. *Penilaian Risikoo Sosial Unloading Muatan pada Terminal Penerima CNG*. Surabaya, 2016.
- HSE, UK. *Fire and Explosion Strategy*. Offshore Division, t.thn.
- Tensta, Carlanda Silja. *Desain Fasilitas Pendukung Berbasis Risiko pada Floating Storage Unit dengan Floating Regasification Unit. Studi Kasus : Pelabuhan Benoa, Bali*. 2016.



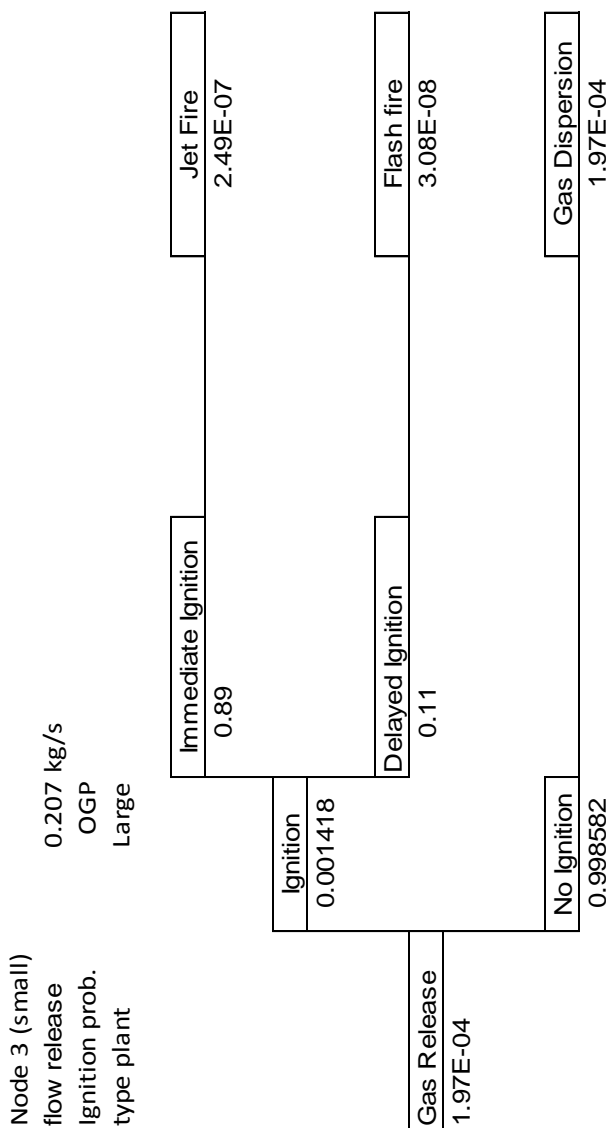
**LAMPIRAN A**  
(Frekuensi)



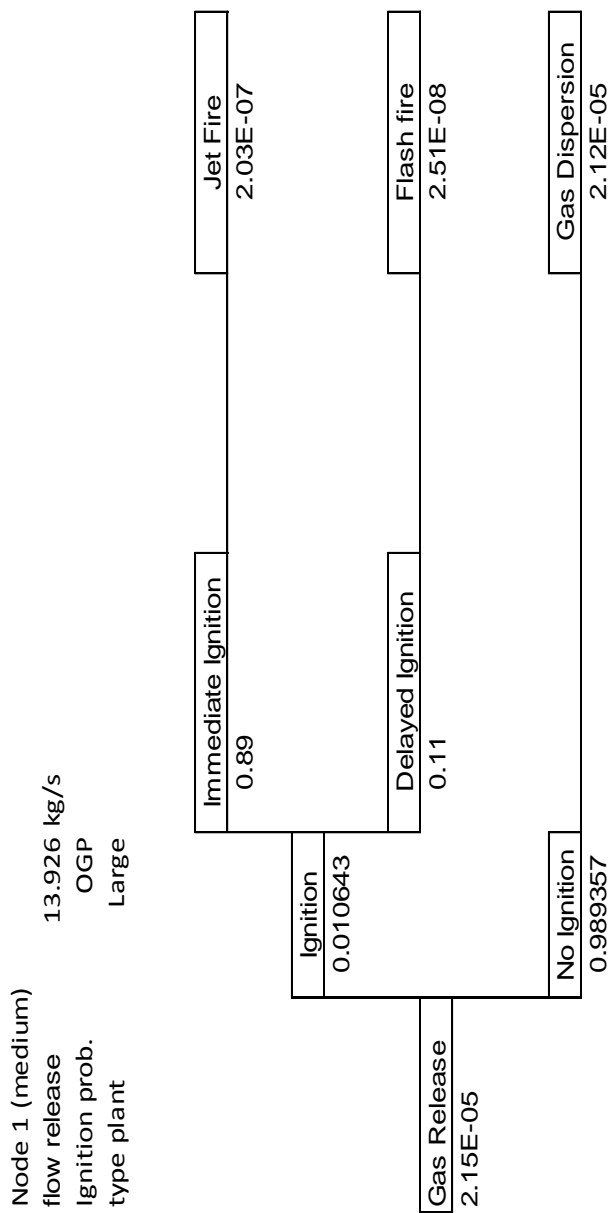
**Gambar 1** Gambar 1 ETA pada STS LNG Transfer node 1 (3-10 mm)



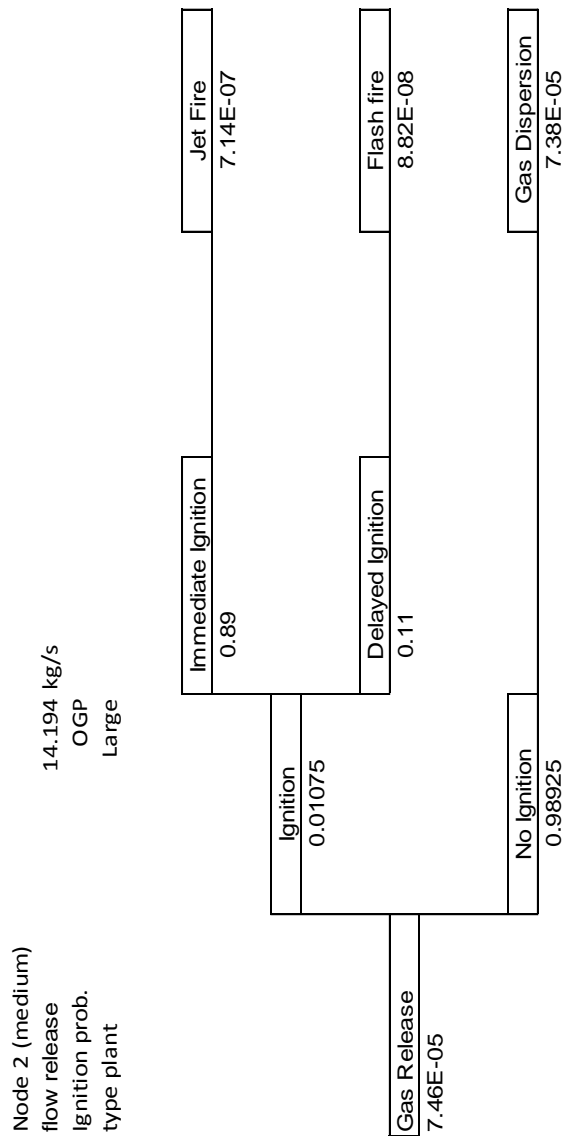
**Gambar 2 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (3-10 mm)**



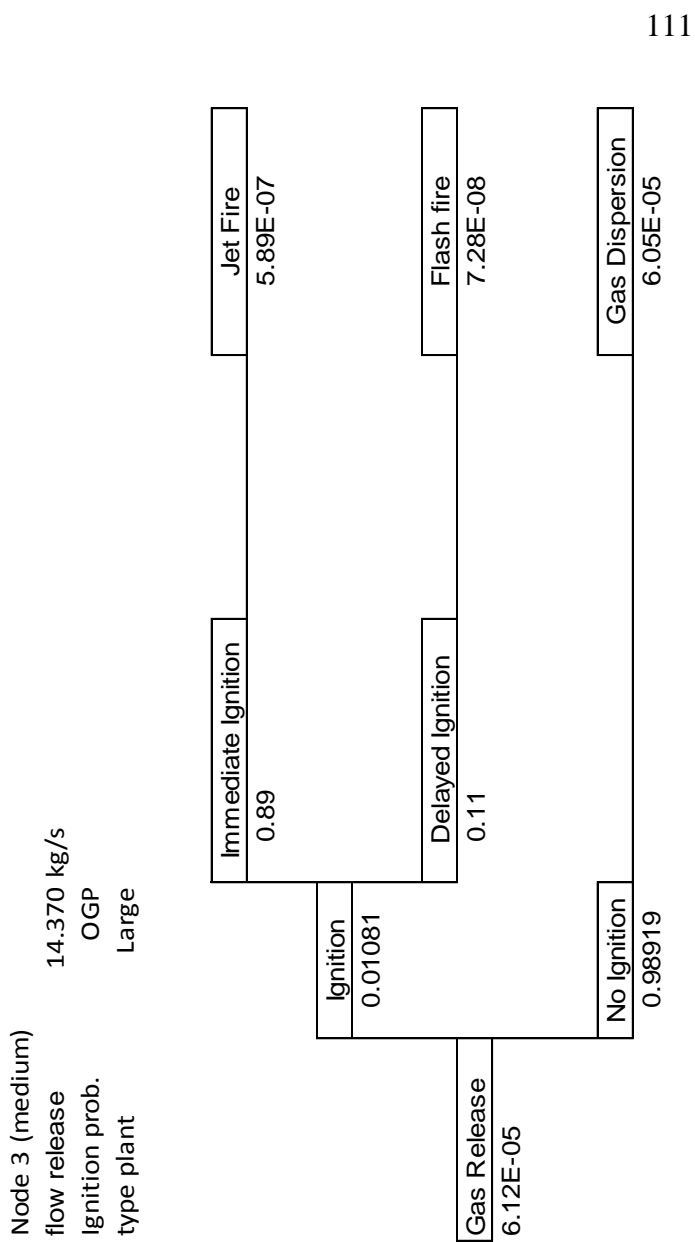
Gambar 3 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (3-10 mm)



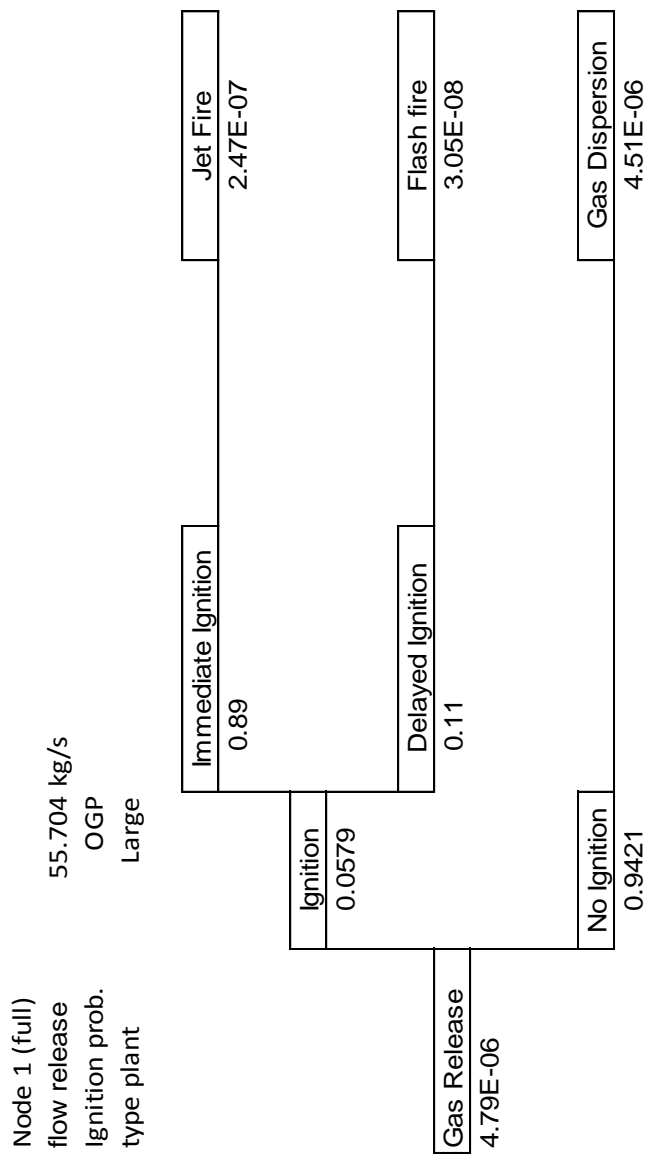
**Gambar 4** ETA pada STS LNG Transfer node 3 (10-50 mm)



Gambar 5 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (10-50 mm)

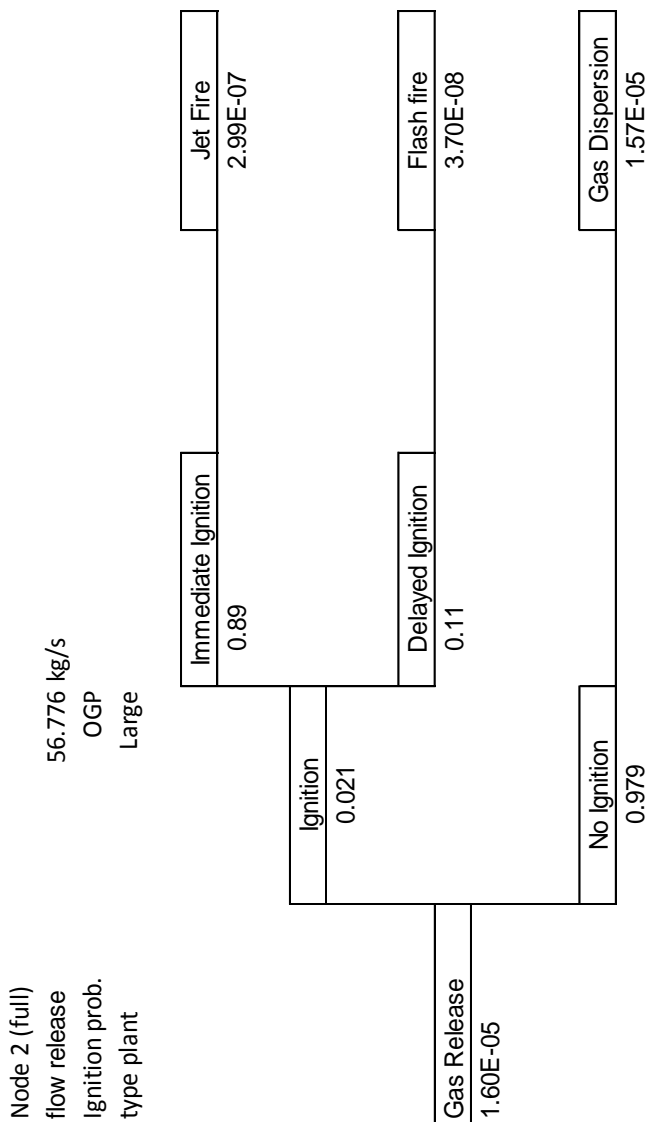


Gambar 6 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (10-50 mm)

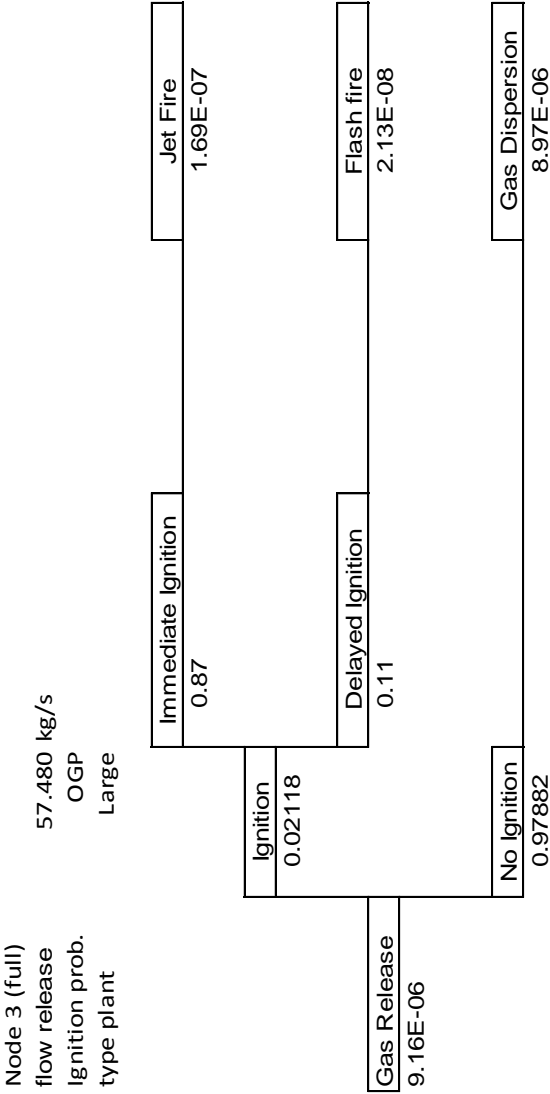


Gambar 7 ETA pada STS LNG Transfer node 1 (50-150 mm)





**Gambar 8 ETA pada STS LNG Transfer node 2 (50-150 mm)**



Gambar 9 ETA pada STS LNG Transfer node 3 (50-150 mm)

**LAMPIRAN B**  
(Konsekuensi)

## 1. GEOGRAFIS / GEOGRAPHIKAL

Tabel : 01.00.10

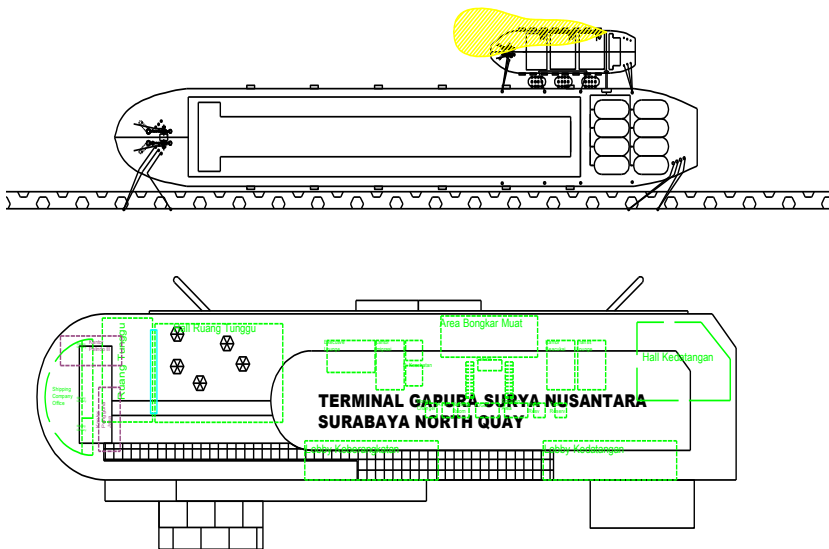
Table

Arah Terbanyak, Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan  
Maksimum Angin di Perak I Per BulanMostly Directional, Speed Averages and Mostly Wind  
Velocity at Perak I by Month

2014

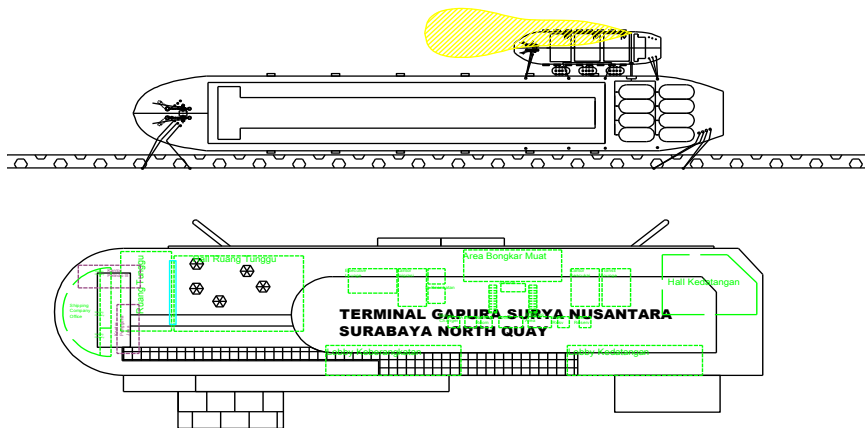
B u l a n/ M o n t h	Arah Terbanyak / Mostly Directional	Kecepatan Rata-rata/ Speed Average (Knot)	Kecepatan Angin Maksimum/ Mostly Wind Velocity			Tanggal/ Date
			Arah/ Direc- tion	Kecepatan/ Velocity (Knot)	Jam/ Hours (BBWI)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Januari/ January	Barat	6	310	25	12.50	30
Pebruari/ February	Barat	7	310	31	15.10	11
Maret/ March	Barat	6	150	30	15.10	13
April/ April	Barat Laut	6	040	31	15.20	7
Mei/ May	Timur	7	160	22	13.30	4
Juni/ June	Timur	6	060	21	11.30	24
Juli/ July	Timur	6	080	21	12.30	28
Agustus/ August	Timur	8	060	27	12.50	4
September/ September	Timur	8	090	25	14.00	23
Oktober/ October	Timur	9	050	25	11.30	20
Nopember/ November	Timur	6	050	25	13.20	24
Desember/ December	Barat	6	180	25	14.10	9
Rata-rata/ Average	Timur	7		26		

Gambar 10 Data Statistik Arah dan Kecepatan Angin



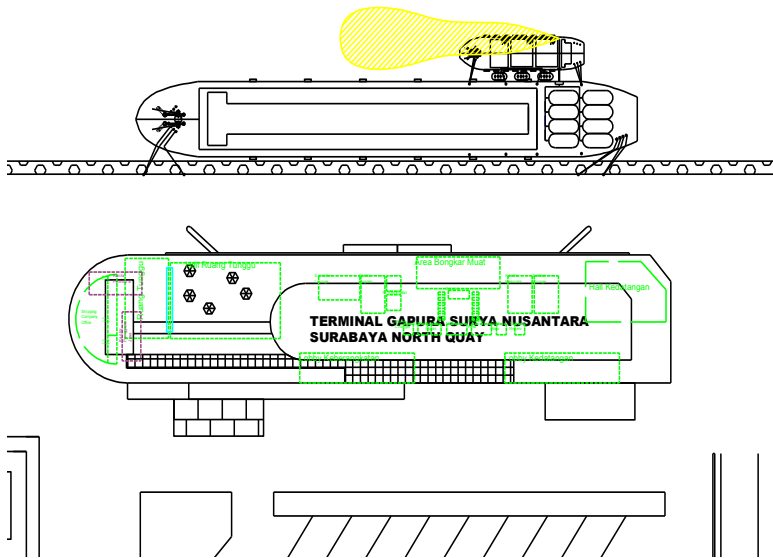
Gambar 11 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Barat

01

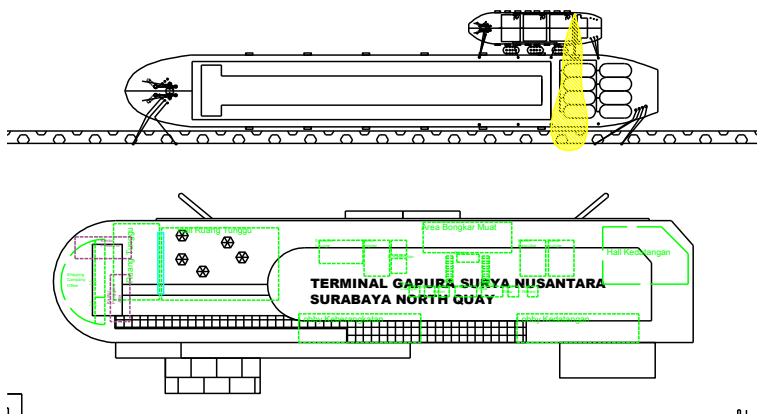


Gambar 12 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Barat

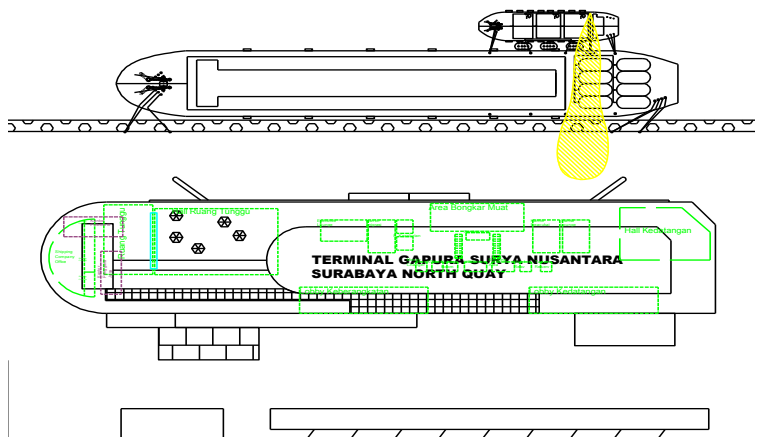
01



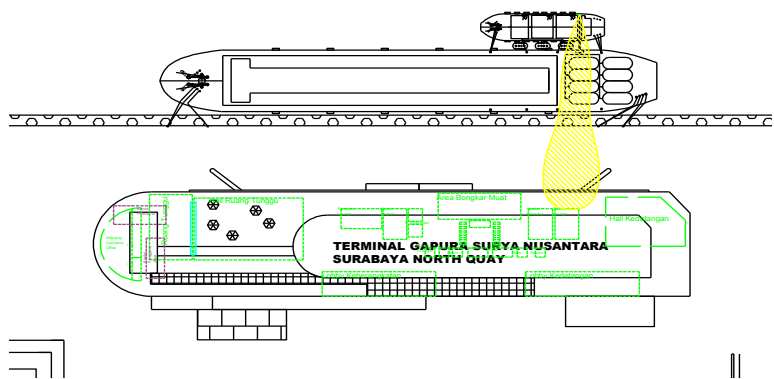
**Gambar 13 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Barat**



Gambar 14 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Selatan

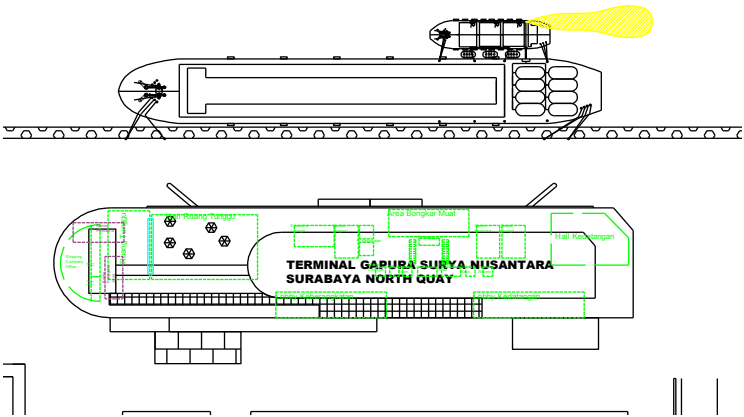


Gambar 15 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Selatan

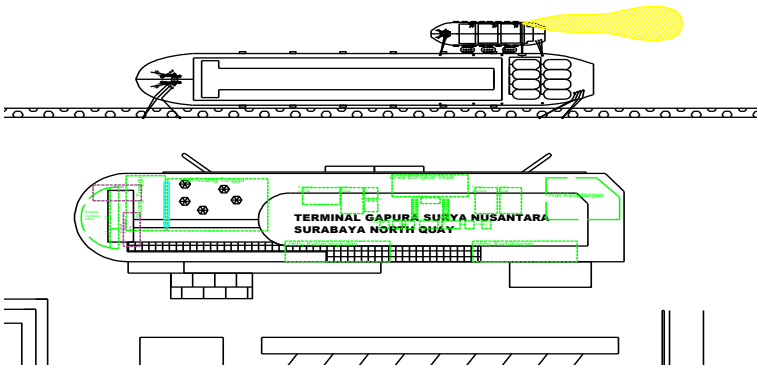


**Gambar 16 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Selatan**

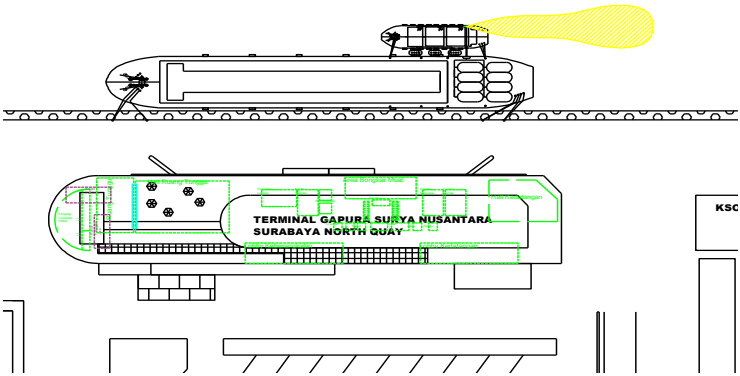




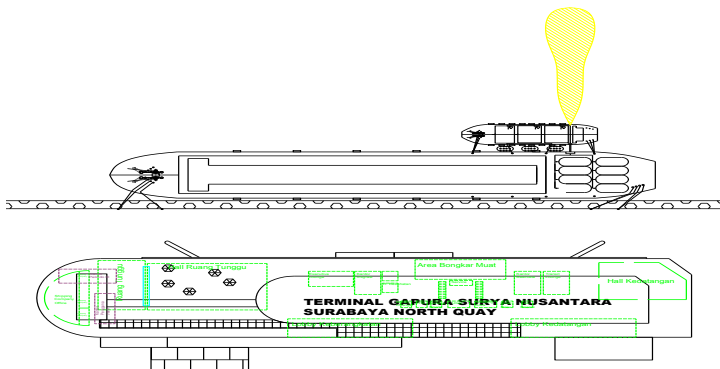
**Gambar 17 Fire Modelling Flash Fire Small – Arah Timur**

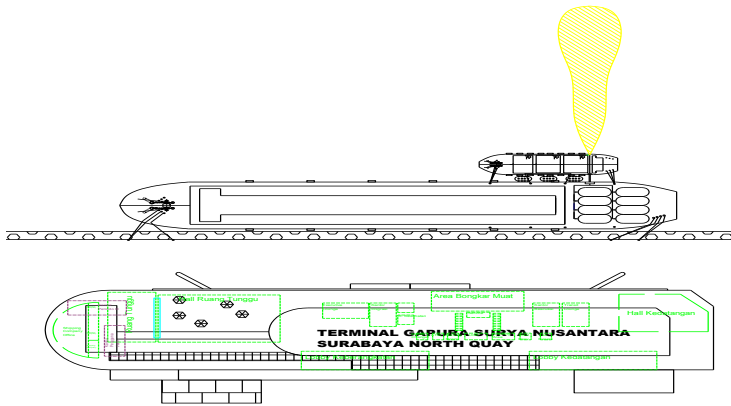


**Gambar 18 Gambar 19 Fire Modelling Flash Fire Medium – Arah Timur**

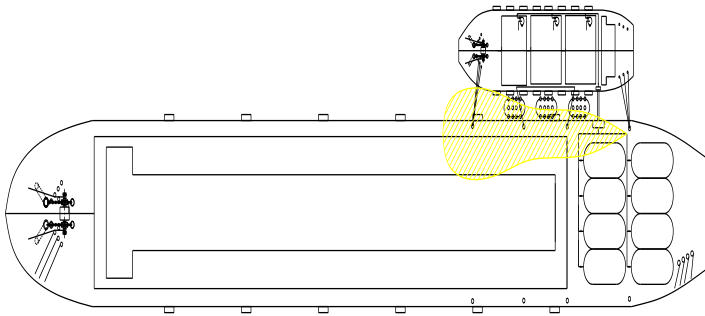


**Gambar 19 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Timur**

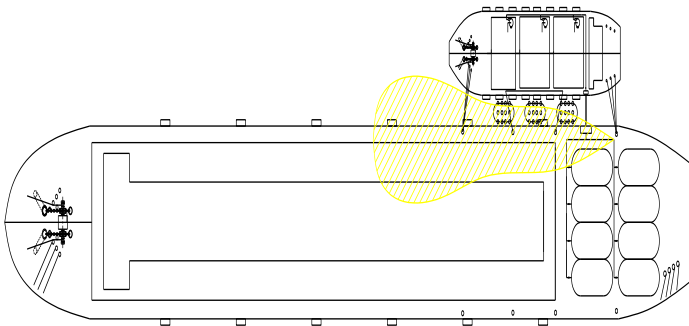




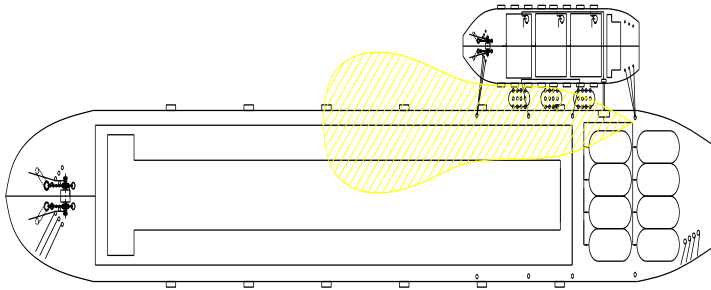
**Gambar 22 Fire Modelling Flash Fire Large – Arah Utara**



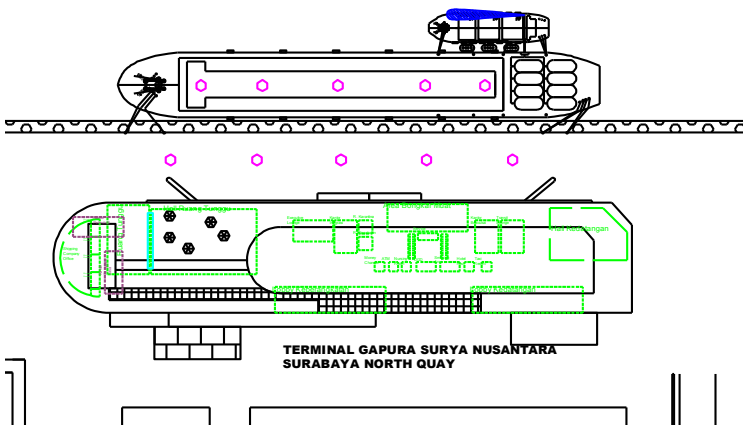
**Gambar 23 Fire Modelling Flash Fire Small di Laut-Barat**



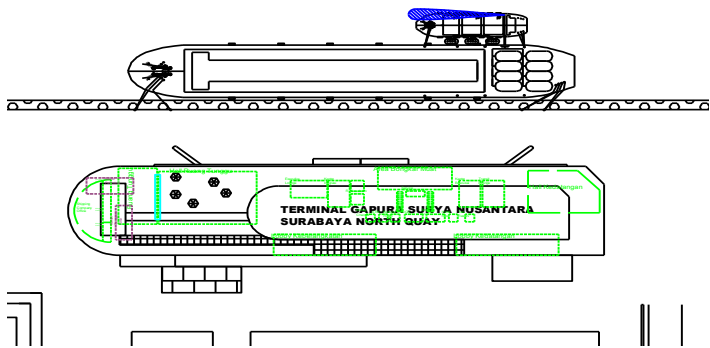
**Gambar 24 Fire Modelling Flash Fire Medium di Laut-Barat**



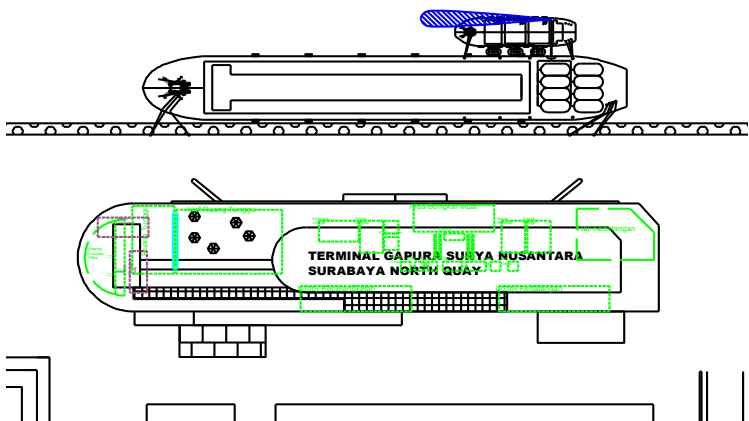
**Gambar 25 Fire Modelling Flash Fire Large di Laut-Barat**



**Gambar 26 Fire Modelling Gas Dispersion Small – Arah Barat**

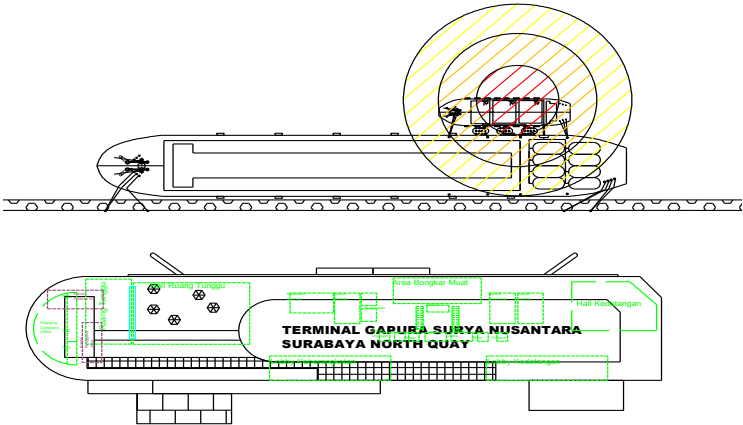


**Gambar 27 Fire Modelling Gas Dispersion Medium – Arah Barat**

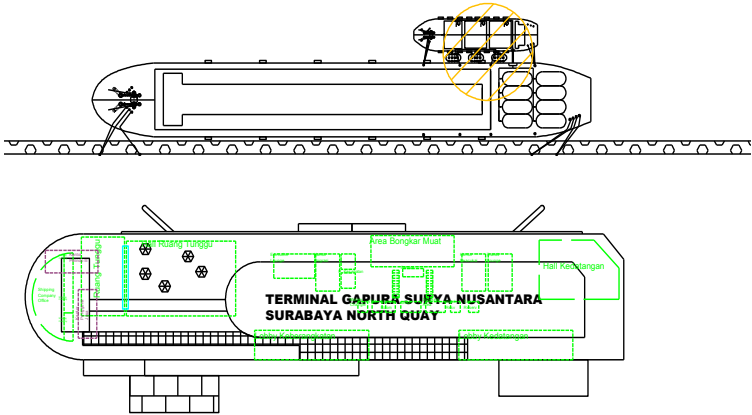


**Gambar 28 Fire Modelling Gas Dispersion Large – Arah Barat**

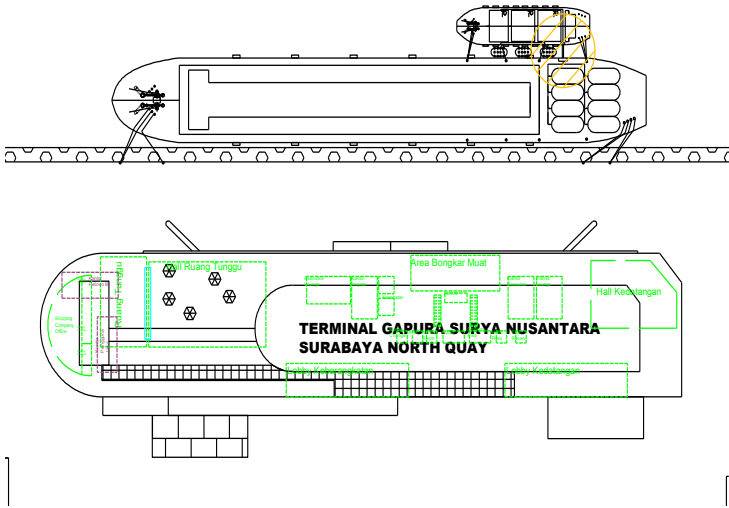




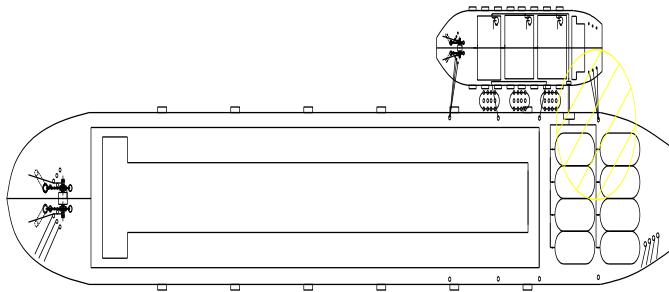
Gambar 29 Fire Modelling Jet Fire Large



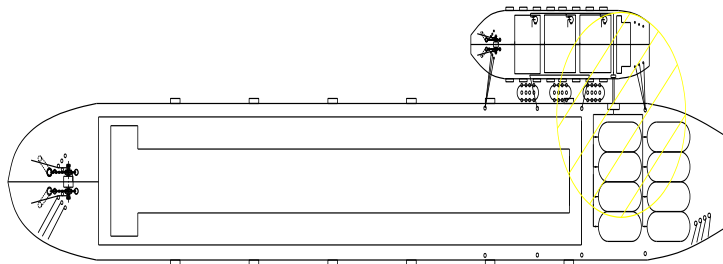
Gambar 30 Fire Modelling Jet Fire Medium



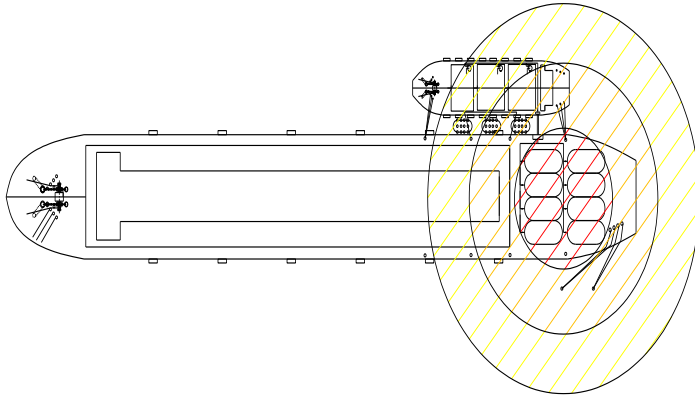
**Gambar 31 Fire Modelling Jet Fire Small**



**Gambar 32 Fire Modelling Jet Fire Small**



**Gambar 33 Fire Modelling Jet Fire Medium**

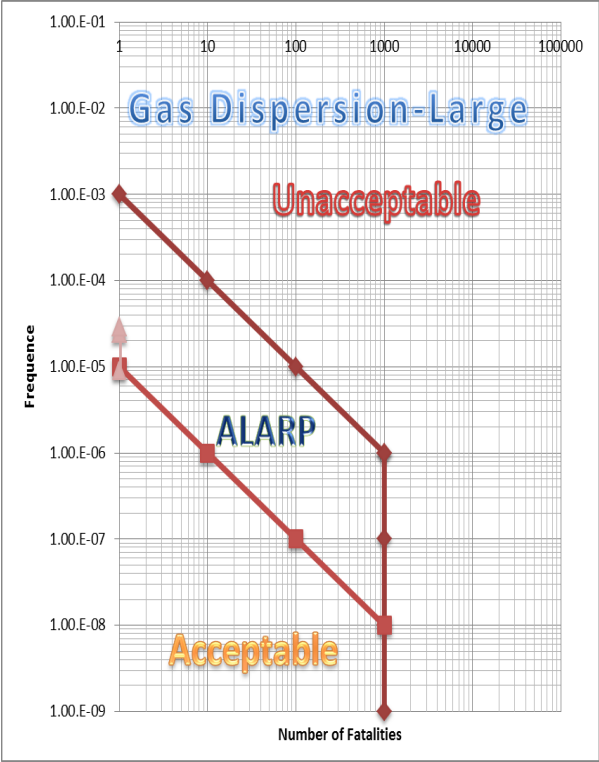


**Gambar 34 Fire Modelling Jet Fire Medium**

**LAMPIRAN C**  
(Representasi Risiko)

**Tabel 1 1** Representasi Risiko Gas Dispersion Large

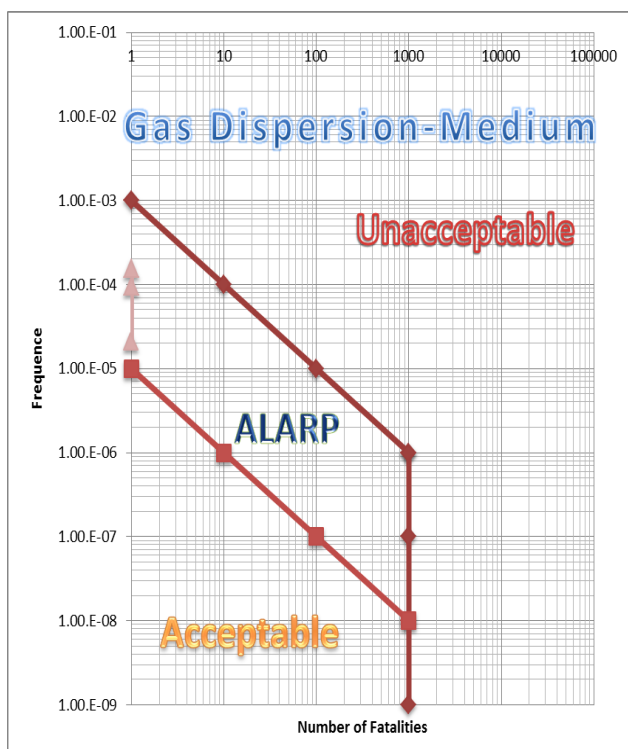
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	4.51E-06	4.51E-06
2	Transfer System	0	1.57E-05	2.02E-05
3	Receiver System	0	8.97E-06	2.91E-05



**Gambar 35** F-N Curve Gas Dispersion Large

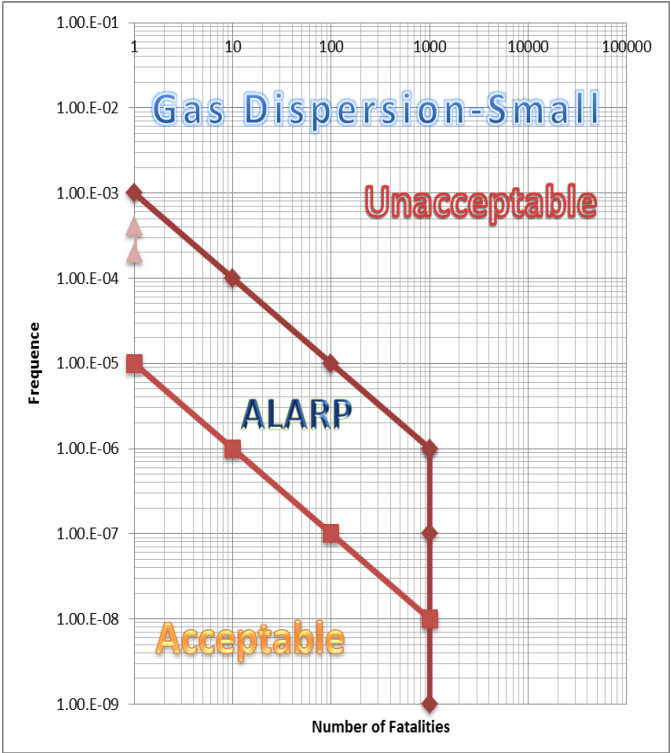
**Tabel 2 Representasi Risiko Gas Dispersion Medium**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	2.12E-05	2.12E-05
2	Transfer System	0	7.38E-05	9.50E-05
3	Receiver System	0	6.05E-05	1.56E-04

**Gambar 36 F-N Curve Gas Dispersion Medium**

**Tabel 3 Representasi Risiko Gas Dispersion Small**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	4.86E-05	4.86E-05
2	Transfer System	0	2.16E-04	2.65E-04
3	Receiver System	0	1.97E-04	4.62E-04

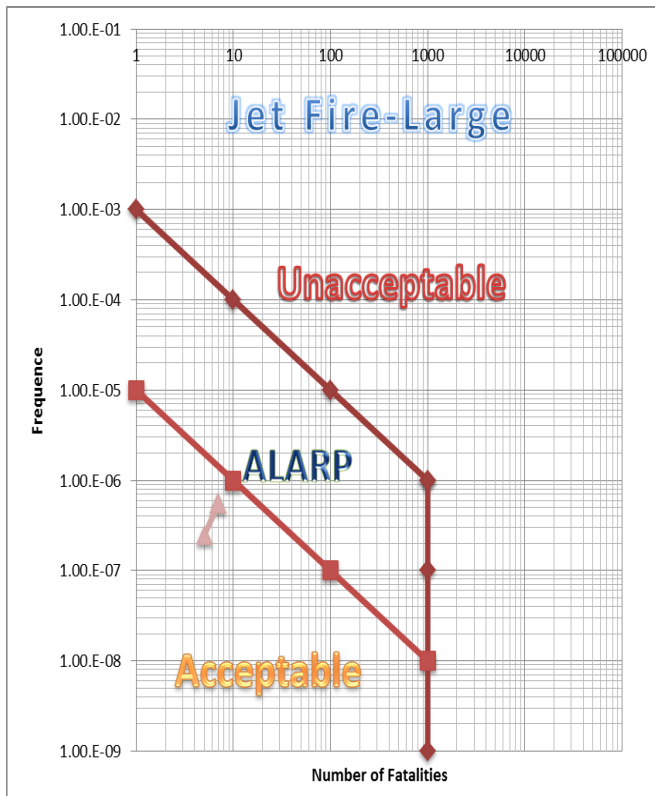


**Gambar 37 F-N Curve Gas Dispersion Small**



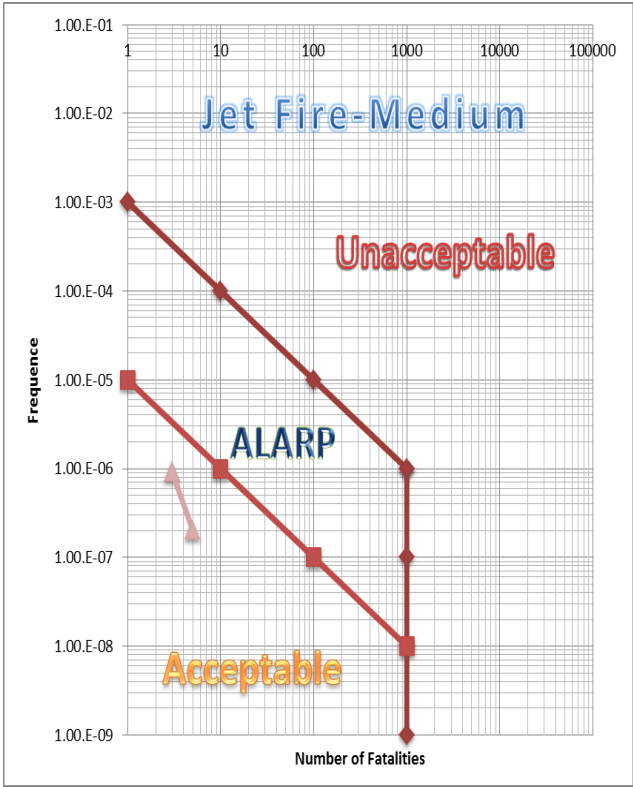
**Tabel 4 Representasi Risiko Jet Fire Large**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	2.47E-07	2.47E-07
2	Transfer System	7	2.99E-07	5.46E-07
3	Receiver System	0	1.69E-07	7.15E-07

**Gambar 38 F-N Curve Jet Fire Large**

Tabel 5 Representasi Risiko Jet Fire Medium

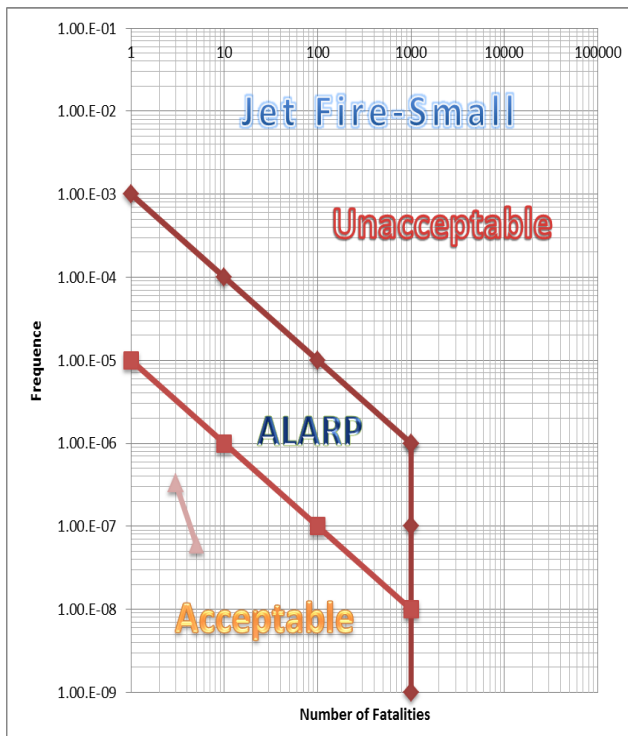
Skenario Jet Fire Medium				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	2.03E-07	2.03E-07
2	Transfer System	3	7.14E-07	9.17E-07
3	Receiver System	0	1.69E-07	1.09E-06



Gambar 39 F-N Curve Jet Fire Medium

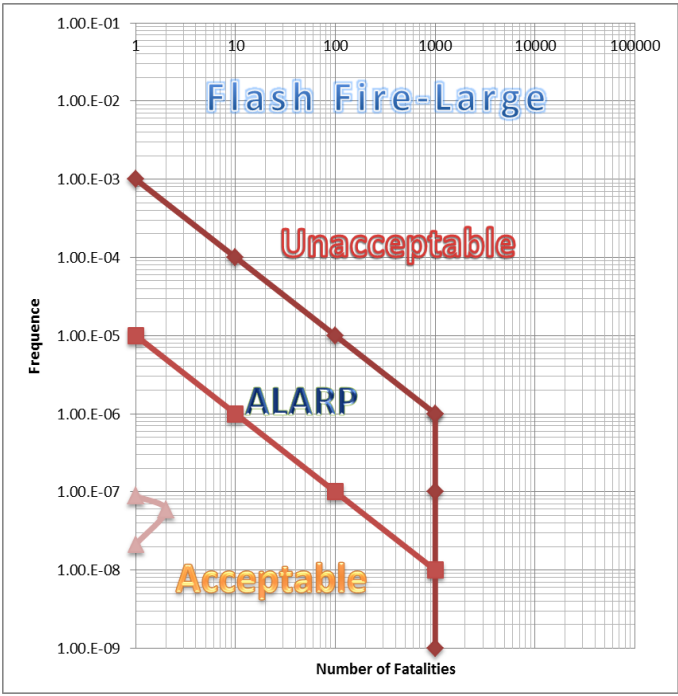
**Tabel 6 Representasi Risiko Jet Fire Small**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	6.07E-08	6.07E-08
2	Transfer System	3	2.72E-07	3.33E-07
3	Receiver System	0	2.49E-07	5.81E-07

**Gambar 40 F-N Curve Jet Fire Small**

**Tabel 7 Representasi Risiko Flash Fire Large**

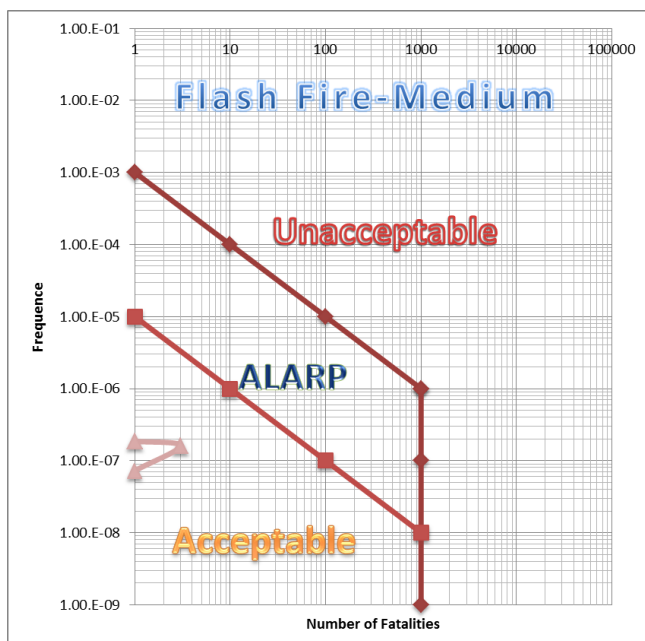
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	2	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08



**Gambar 41 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Barat**

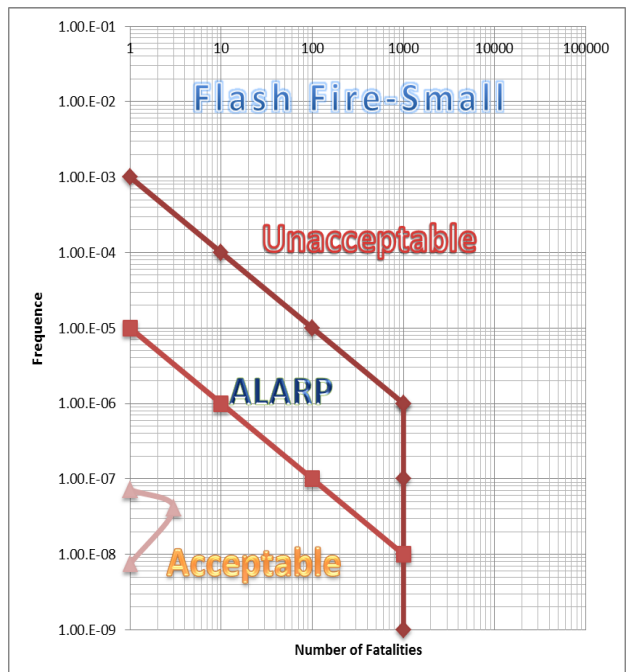
**Tabel 8 Representasi Risiko Flash Fire Medium**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge	0	2.51E-08	2.51E-08
2	Transfer S	3	8.82E-08	1.13E-07
3	Receiver S	0	7.28E-08	1.86E-07

**Gambar 42 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Barat**

**Tabel 9 Representasi Risiko Flash Fire Small**

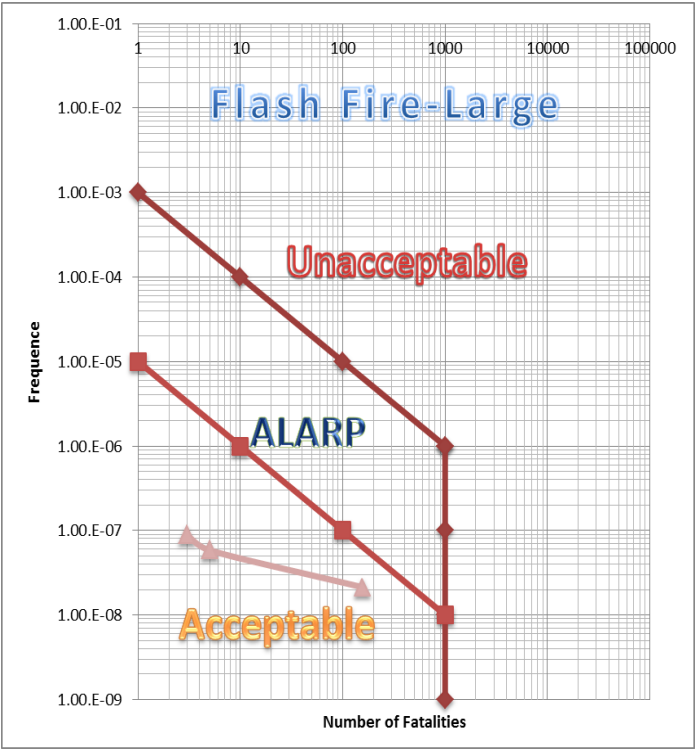
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	1	7.50E-09	7.50E-09
2	Transfer System	3	3.36E-08	4.11E-08
3	Receiver System	1	3.08E-08	7.19E-08



**Gambar 43 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Barat**

Tabel 10 Representasi Risiko Flash Fire Large

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	3	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	5	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	155	2.13E-08	8.88E-08

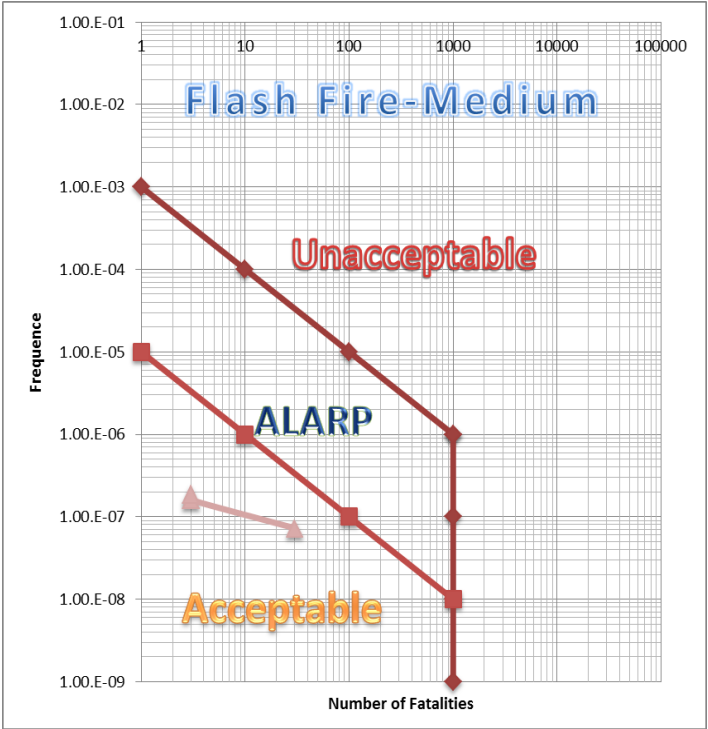


Gambar 44 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Selatan

**Tabel 11 Representasi Risiko Flash Fire Medium**

Skenario Flash Fire Medium - Arah Selatan

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	3	2.51E-08	2.51E-08
2	Transfer System	3	8.82E-08	1.13E-07
3	Receiver System	30	7.28E-08	1.86E-07

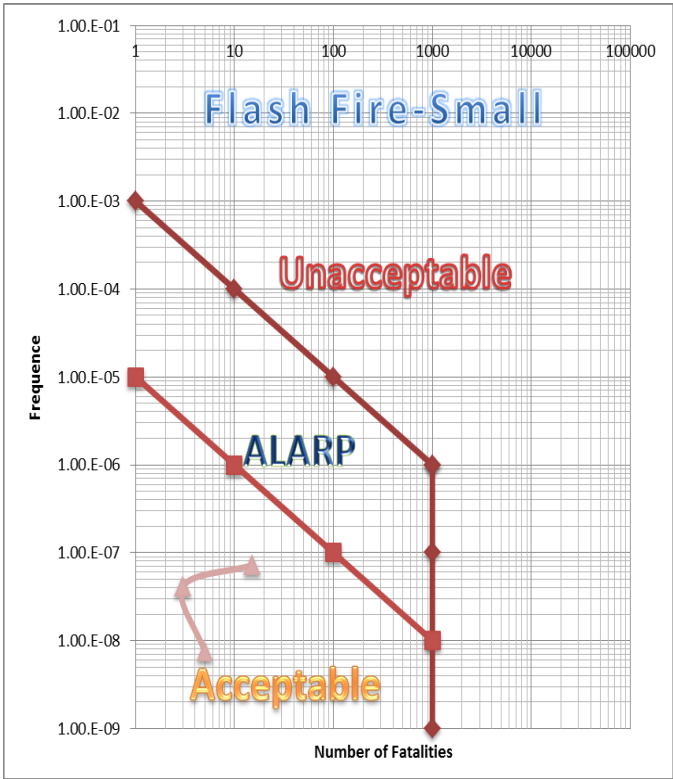


**Gambar 45 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Selatan**



Tabel 12 Representasi Risiko Flash Fire Small

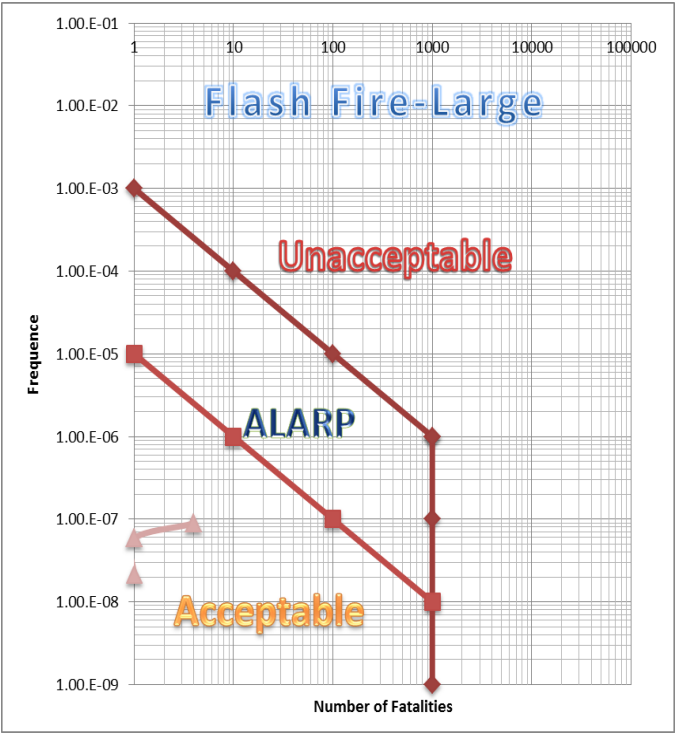
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	5	7.50E-09	7.50E-09
2	Transfer System	3	3.36E-08	4.11E-08
3	Receiver System	15	3.08E-08	7.19E-08



Gambar 46 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Selatan

Tabel 13 Representasi Risiko Flash Fire Large

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	4	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	0	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08

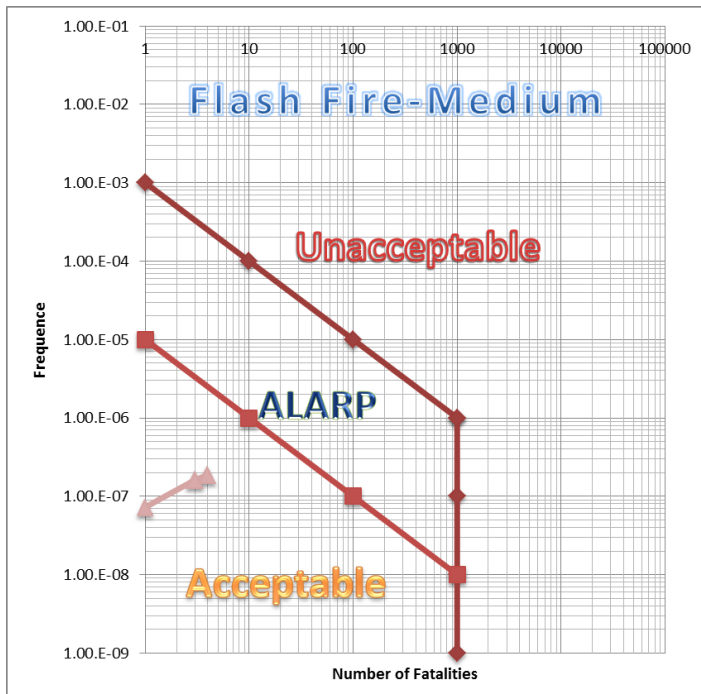


Gambar 47 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Utara

**Tabel 14 Representasi Risiko Flash Fire Medium**

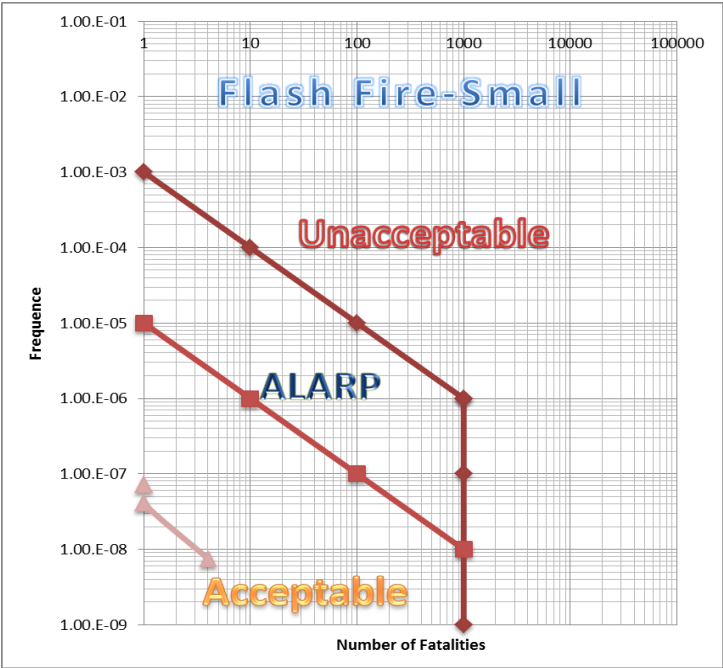
Skenario Flash Fire Medium - Arah Utara

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge System	4	2.51E-08	2.51E-08
2	Transfer System	3	8.82E-08	1.13E-07
3	Receiver System	0	7.28E-08	1.86E-07

**Gambar 48 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Utara**

**Tabel 15 Representasi Risiko Flash Fire Small**

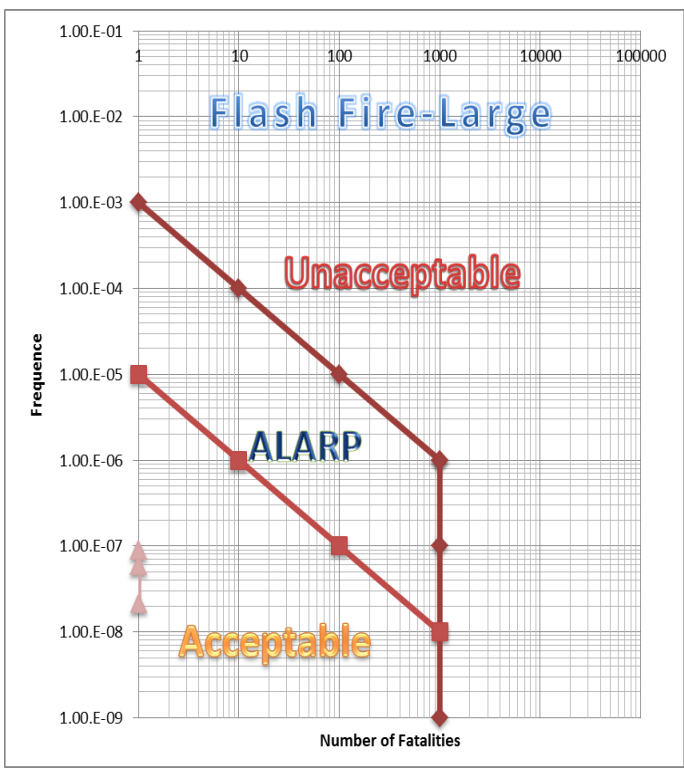
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	4	7.50E-09	7.50E-09
2	Transfer System	1	3.36E-08	4.11E-08
3	Receiver System	1	3.08E-08	7.19E-08



**Gambar 49 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Utara**

**Tabel 16 Representasi Risiko Flash Fire Large**

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	0	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08

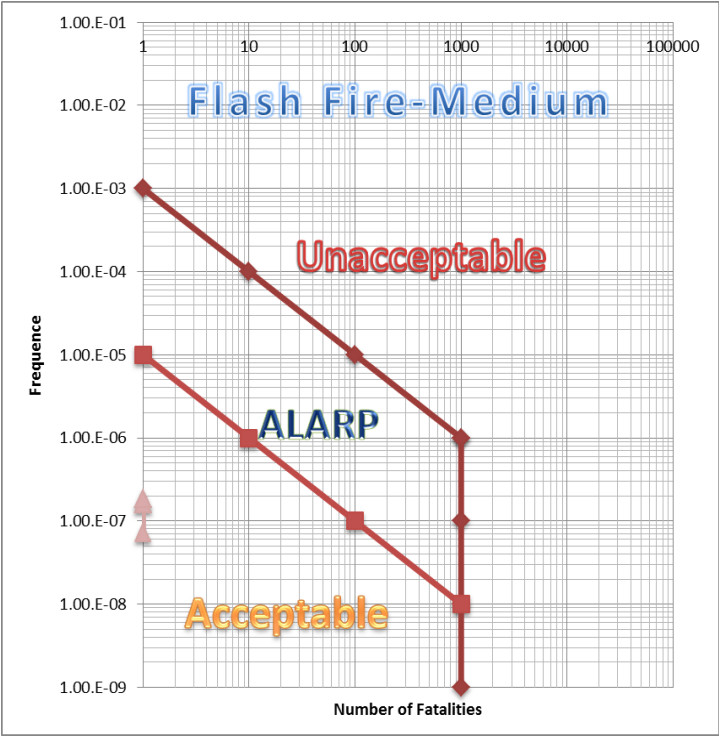


**Gambar 50 F-N Curve Flash Fire Large- Arah Timur**

**Tabel 17 Representasi Risiko Flash Fire Medium**

Skenario Flash Fire Medium - Arah Timur

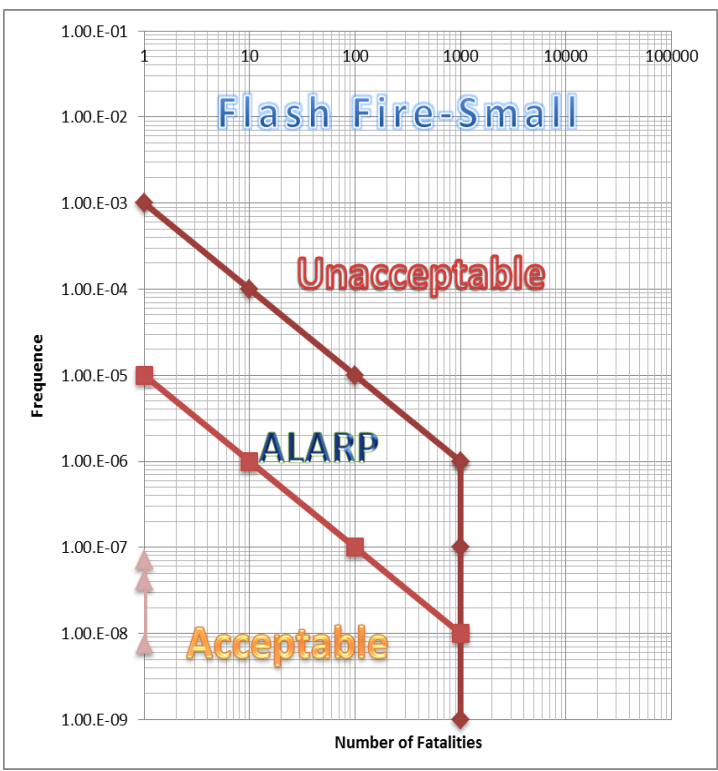
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	2.51E-08	2.51E-08
2	Transfer System	0	8.82E-08	1.13E-07
3	Receiver System	0	7.28E-08	1.86E-07



**Gambar 51 F-N Curve Flash Fire Medium- Arah Timur**

Tabel 18 Representasi Risiko Flash Fire Small

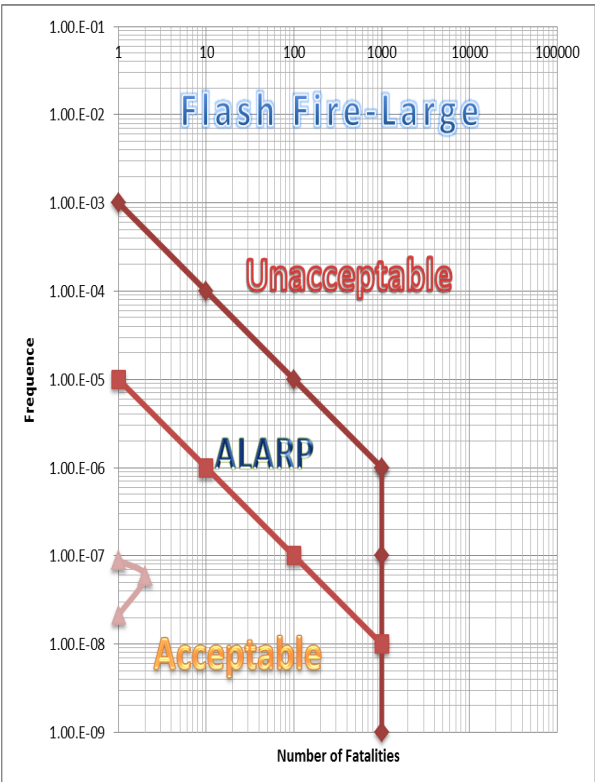
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	7.50E-09	7.50E-09
2	Transfer System	0	3.36E-08	4.11E-08
3	Receiver System	0	3.08E-08	7.19E-08



Gambar 52 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Timur

**Tabel 19. Risiko Flash Fire Large di laut-Barat**

Skenario Flash Fire Large - Arah Barat				
Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	3.05E-08	3.05E-08
2	Transfer System	2	3.70E-08	6.75E-08
3	Receiver System	0	2.13E-08	8.88E-08



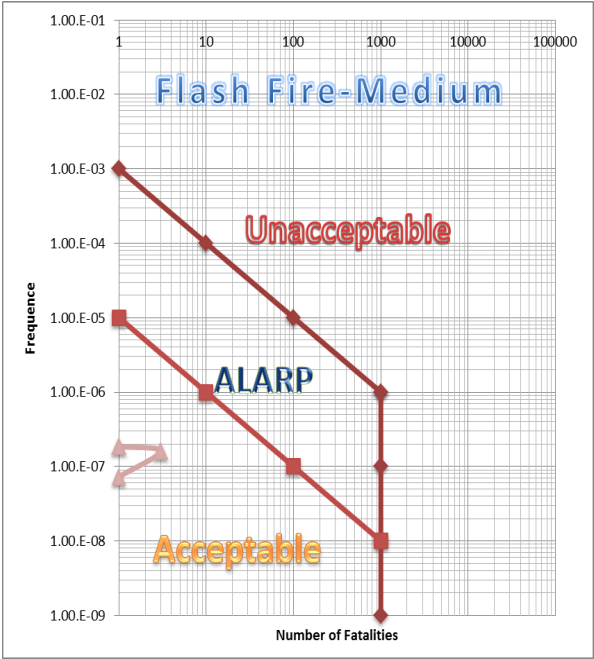
**Gambar 53 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Barat**



Tabel 20 Risiko Flash Fire Medium di laut-Barat

Skenario Flash Fire Medium - Arah Barat

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequence	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	2.51E-08	2.51E-08
2	Transfer System	3	8.82E-08	1.13E-07
3	Receiver System	0	7.28E-08	1.86E-07

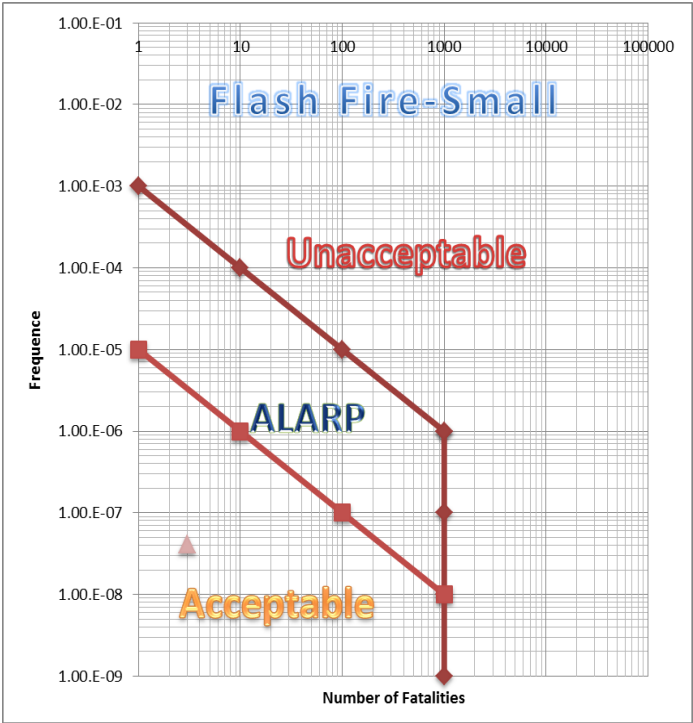


Gambar 54 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Barat

**Tabel 21 Representasi Risiko Flash Fire Medium di laut-Barat**

Skenario Flash Fire Small - Arah Barat

Node / Segmen	Locations	Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	Discharge System	0	7.50E-09	7.50E-09
2	Transfer System	3	3.36E-08	4.11E-08
3	Receiver System	0	3.08E-08	7.19E-08



**Gambar 55 F-N Curve Flash Fire Small- Arah Barat**



Penulis dilahirkan di Bandung, 30 November 1994, merupakan anak sulung dari 2 bersaudara. Penulis menjalani pendidikan formal di TK Kristem Petra 13 dan SD Kristen Petra 13. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Kristen Petra 5 dan SMA Kristen Petra 5.

Pada tahun 2013, penulis diterima di jurusan Teknik Sistem Perkapalan-FTK Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Penulis berkesempatan melakukan kerja praktik di PT. Dok Perkapalan Surabaya (PERSERO) dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia (PERSERO). Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil konsentrasi di bidang RAMS (Reliability, Avalability, Maintenance and Safety). Penulis aktif dalam organisasi kemanusiaan Sai Study Group dan pernah menjadi panitia dalam acara YES SUMMIT 2015 ITS-ASEAN. Penulis menyelesaikan studi Strata 1 dengan predikat cumlaude dalam 7 semester.